Amatérské RADIO

ŘADA B
PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS
PRO RADIOTECHNIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXV/1976 ČÍSLO 5

Hlavní směry hospodářského rozvoje

V TOMTO SEŠITĚ

Hlavní směry hospodářského rozvoje 161
ČÍSLICOVÉ MULTIMETRY
1. Úvod
Přednosti číslicové měřicí techniky 162
Číslicové měřitelné elektrické veličiny 163
Základní vlastnosti číslicových multimetrů 163
2. Přehled metod číslicového měření napětí
Kompenzační metoda 164
Metoda pilovitého převodu . . 165
Integrační metody 165
Kombinované metody 166
3. Přehled převodu střídavých napětí a odporů na stejnosměrné napětí
Převodníky střídavého napětí na stejnosměrné 168
Přímé metody převodu AC-DC 168
Nepřímé metody převodu AC-DC 168
Převodníky odporů na stejnosměrné napětí 169
4. Návrh obvodů číslicového multimetru
Návrh jednotlivých obvodů . . . 171
5. Konstrukce multimetru
Popis zapojení, stavba, oživení 175

UNIVERZÁLNÍ ČÍTAČ
Principy měření univerzálním čítačem 186
Pomocné obvody a možnosti rozšíření použití 187
Popis činnosti univerzálního čítače 188
Konstrukce 194

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství Magnet, Vladislavova 26, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 26 06 57-1. Šéfredaktor ing. F. Smolík, zástupce Luboš Kalousek. Redakční rada: K. Bartoš, V. Brzák, K. Donát, A. Glanc, I. Harminc, L. Hlinský, P. Horák, Z. Hradiský, ing. J. T. Hyan, ing. J. Jaroš, doc. ing. dr. J. Joachim, ing. F. Králík, prom. fyz. L. Kryška, ing. I. Lubomirský, K. Novák, ing. O. Petráček, L. Tichý, ing. J. Vackář, CSc., laureát st. ceny KG, ing. J. Zima, J. Ženíšek, laureát st. ceny KG. Redakce Jungmannova 24, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 26 06 51-7, šéfred. linka 354, redaktor. l. 353. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, celoroční předplatné 30 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství Magnet, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Dohlédací pošta Praha 07. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1. Tiskne Naše vojsko, n. p., závod 08, 162 00 Praha 6-Liboc, Vlastina 710. Inzerci přijímá vydavatelství Magnet, Vladislavova 26, PSČ 113 66 Praha 1, telefon 26 06 51-7, linka 294. Za původnost a správnost příspěvku ručí autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy pouze po 14. hodině. Číslo indexu 46044

Toto číslo vyšlo 23. září 1976.

Hospodářský rozvoj, který je jedním z předpokladů úspěšného dovršení výstavby vyspělé socialistické společnosti a komunistické společnosti, je dnes více než kdy jindy spjat s rozvojem vědy a techniky. Soudobá rychlost technického pokroku a jeho výrazné změny vyvolávají objektivně potřebu u dlouhodobých prognóz tak, aby vedoucí síla společnosti, KSČ, mohla správně rozhodovat o všech hospodářských i technických problémech a aby měla jistotu, že řešení těchto problémů bude působit k budoucímu prospěchu společnosti. Prognózy jsou důležité pro rozvoj národního hodpodářství, neboť umožňují se zřetelem na podmínky vědeckotechnické revoluce a její využívání správně zaměřit technický rozvoj a vědeckotechnický výzkum tak, aby se řešily především takové otázky, které jsou pro společnost nejvýznamnější a techniky nejnadějnější.

Vliv vědeckotechnické revoluce na národní hospodářství se tedy projevuje v prognózách a zprostředkovaně i v hospodářských plánech, které jsou do jisté míry na těchto prognózách závislé. Ze stavu vědeckotechnické revoluce, z prognóz a z plánů vychází základní prvek, určující úroveň a směr národního hospodářství – vědeckotechnická politika státu. Základní směrnicí pro současnou vědeckotechnickou hospodářskou politiku státu je Zpráva o hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR v letech 1976 až 1980, kterou přednesl člen předsednictva ÚV KSČ a předseda vlády ČSSR, Lubomír Štrougal, na XV. sjezdu KSČ. Nejzajímavější částí Zprávy je část, věnovaná „naší zájmové oblasti", z níž vyjímáme: *„Vyšší stupeň uspokojování potřeb společnosti i obyvatelstva a další rozkvět naší země závisí v rozhodující míře na růstu průmyslové výroby. V letech 1976 až 1980 předpokládáme její zvýšení o 32 až 34 %, přičemž vývoz průmyslových výrobků má stoupnout téměř o polovinu, dodávky do tržních fondů zhruba o čtvrtinu a dodávky strojů a zařízení pro investiční výstavbu téměř o pětinu.*

Rozvoj výrobních sil opíráme tedy především o růst průmyslové výroby a v ní pak o strojírenství. Strojírenská produkce je svou povahou progresivním prvkem rozvoje společenských výrobních sil a nositelem technického pokroku ve všech odvětvích. Tuto jeho výjimečnou funkci násobí skutečnost, že mu připadá rozhodující úloha při rozvíjení vnějších ekonomických vztahů, při tvorbě převážné části prostředků pro dovoz zejména surovin a pro naši účast při jejich získávání v zahraničí.

Strojírenství má bohaté a pokrokové tradice, o něž se zasloužily mnohé generace našich dělníků, techniků a konstruktérů, které proslavily práci našich rukou a mozků daleko za hranicemi. Kováci a strojaři byli vždy oporou revolučního hnutí naší dělnické třídy a naší strany. Jejich třídní uvědomění a pochopení pro všechno nové zvláště vynikly v období zápasů o socialistickou cestu naší země. Strojírenství se nesmazatelně zapsalo do bohaté historie industrializace Československa i dalších zemí budujících socialismus. Bez jeho práce by byl nemyslitelný rozmach zemědělství, rozvoj všech odvětví našeho národního hospodářství.

Také v současném období, jak je to zřejmé z navržené směrnice, považuje strana strojírenství za rozhodující odvětví. Předurčenost jeho postavení vyplývá především z toho, že strojírenský vývoz musí uhradit největší část dovozních potřeb naší ekonomiky, zejména surovin a energie, vybavit technikou ostatní odvětví našeho národního hospodářství a významně přispět k obohacení vnitřního trhu."

V popředí zájmu je tedy především strojírenství, do něhož oblastí patří i elektronika. Přitom jako všechna ostatní průmyslová odvětví, tak i elektronika a strojírenství vůbec se musí řídit v zásadě těmito směry státní technické politiky: za prvé co nejlépe hospodařit s naším bohatstvím paliv a energie, surovin a půdního fondu a dalšími přírodními zdroji a mnohem hospodárněji zhodnocovat suroviny, energii a materiály z dovozu, za druhé dosáhnout přiměřeným vynaložením prostředků výrazných úspor tzv. živé práce ve výrobních i nevýrobních činnostech, za třetí plánovitě přetvářet strukturu výrobních sil, efektivněji vynakládat prostředky na výzkum a vývoj, investiční výstavbu, modernizaci a rekonstrukci, za čtvrté rychleji obměňovat sortiment výroby na nejvyšší technické úrovni a zvyšovat jakost vyráběných výrobků a konečně v plném rozsahu využívat předností socialistické ekonomické integrace.

To jsou všechno nakonec všeobecně známé a uznávané zásady. Je ovšem otázkou, jak se tyto zásady uplatňují v praxi. Všichni víme, že právě zde je často kámen úrazu – často nedostatečná úroveň řídící práce, pohodlnost, lajdáctví a další důvody jsou příčinou toho, že i přes některé velmi dobré výsledky nemůžeme být s plněním uvedených zásad spokojeni. Vezměme si např. poslední větu z citované části projevu předsedy vlády ČSSR – *„významně přispět k obohacení vnitřního trhu"*. Pokud jde o elektroniku, je situace velmi neutěšená – na trhu není jakostní cívkový magnetofon, nemluvě již o kazetovém magnetofonu (kde jsou doby, kdy byly na trhu např. Sonet duo, ve své době jeden z nejlepších přístrojů, který u mnohých používatelů slouží dodnes, a kazetový magnetofon A3, také špičkový výrobek svého druhu a své doby), barevné televizní přijímače jsou drahé a koncepčně již dávno překonané, skutečná novinka v černobílých televizních přijímačích není, zcela chybí doplňková zařízení pro televizní přijímače, jako jsou dálková ovládání a různé příslušenství k anténám – symetrizační členy, rotátory, konvertory atd., dodnes není na trhu souprava Hi-Fi, jejíž díly by se k sobě „hodily" jak jakostí, tak i tvarem a vnějším provedením atd.

V tomto směru je tedy před námi „pole neorané". V možnostech, zkušenostech a schopnostech našich techniků a dělníků je tyto mezery vyplnit; tam, kde je to neefektivní, bylo by třeba uvést ve skutek slova o mezinárodní socialistické integraci – vždyť žádná země na světě (kromě velmocí) nevyrábí vše! Víme o tom (a čtenáři AR též, neboť je o tom redakce pravidelně informuje), že se v zemích socialistického tábora vyrábějí přístroje, které u nás na trhu nejsou – v poslední době např. stereofonní kazetový magnetofon v Bulharsku (nemluvě již o maďarských výrobcích), křemíkové tranzistory p-n-p v Polsku, integrované obvody MOS v NDR atd. Bylo by tedy nesmyslné mrhání silami

a prostředky tyto věci vyvíjet a vyrábět – na našem trhu však scházejí.

Jednoduše by bylo možno vyjádřit úkoly a směry naší ekonomiky (a to i pokud jde o strojírenství) asi tak, jak to řekl člen předsednictva ÚV KSČ a předseda Státní plánovací komise, V. Hůla, na schůzi poslanců obou sněmoven našeho nejvyššího zákonodárného sboru – Federálního shromáždění: *„Potřebujeme efektivně vyrobené kvalitní zboží, které rychle najde spotřebitele, a ne zboží do zásob nebo takové, které se nedá rentabilně prodat.“*

Ke zvládnutí všech úkolů 6. pětiletky nám však v žádném případě nebudou stačit „domácí síly“, i když jsou proti minulosti k dispozici i větší zdroje, větší celkový potenciál ekonomiky, mohutnější výrobní základna, nové zkušenosti, více kvalifikovaných pracovníků, větší iniciativa a angažovanost pracujících. Na štěstí se můžeme opřít o mohutnou ekonomickou sílu Sovětského svazu a celého socialistického společenství. Především tento fakt vytváří dobré a reálné předpoklady, že budou splněny i náročné úkoly 6. pětiletky.

Všechny úkoly a plány, které před námi stojí, mají hlavní cíl: zajistit v souladu s prohlubováním socialistického způsobu života uspokojování rostoucích hmotných a duchovních potřeb obyvatelstva a dále upevňovat jeho životní a sociální jistoty na základě trvalého rozvoje a vysoké efektivnosti společenské výroby a kvality veškeré práce. A je otázkou vztahu jednoho každého z nás ke společnosti, jak svými činy podpoříme závěry XV. sjezdu KSČ, jak přistoupíme k plnění úkolů, které před nás postavila perspektiva dalšího rozvoje naší společnosti.

Základní číslicové měřicí přístroje

Ing. Karel Haas, Jiří Zuska

1. Úvod

Když byly v roce 1953 uvedeny na trh první číslicové voltmetry, jednalo se o velmi nákladné a objemné přístroje, určené pouze pro speciální laboratoře. Také v dalších letech se vyráběly především velmi přesné přístroje, jejichž cena omezovala možnosti jejich rozšíření. Teprve koncem šedesátých let umožnil technický pokrok, že se číslicová měřicí technika uplatnila v širším měřítku. Byly objeveny a propracovány nové metody analogově číslicového převodu a součástková základna byla obohacena zejména o číslicové integrované obvody a o analogové integrované obvody – operační zesilovače. Pozornost vývojových pracovníků a konstruktérů se zaměřila především na oblast číslicových měřicích přístrojů pro běžnou laboratorní práci. Jedním ze základních požadavků pak byla co nejnižší cena přístroje.

Integrované obvody dovolily podstatně zmenšit počet součástek a tím i rozměry číslicových měřicích přístrojů, nebo při zachování rozměrů rozšířit jejich funkční možnosti. První číslicové měřicí přístroje schopné měřit více elektrických veličin, dnes běžně nazývané číslicové multimetry, byly řešeny pomocí výsuvných modulů. Vstupní obvody, zpravidla izolované od zbývající části, byly umístěny ve výsuvném modulu. K základnímu přístroji obsahujícímu vlastní analogově číslicový převodník se zpravidla dodávaly výsuvné moduly k měření stejnosměrných napětí a odporů. Jindy se používaly samostatné převodníky střídavých napětí a odporů na stejnosměrné napětí, které se jednoduše předřadily před vlastní číslicový stejnosměrný voltmetr.

Tyto, z dnešního hlediska poněkud nepraktické přístroje, vystřídaly multimetry se všemi obvody v jediné skříňce s možností volby druhu měření pouhým stlačením tlačítka nebo otočením přepínače. A opět se postupující integrací jednotlivých obvodů (MSI, LSI) začaly rozměry číslicových multimetrů zmenšovat. Část z nepřeberného množství přístrojů známých i méně známých výrobců z celého světa jsme mohli vidět na letošním brněnském mezinárodním strojírenském veletrhu. Na stáncích firem Schlumberger, Hewlett Packard, Dana, Fluke, Takeda Riken i u výrobců z Maďarska, Polska, SSSR a ČSSR (METRA Blansko) bylo možno vidět multimetry nejrůznějších provedení od téměř kapesních s přesností 1 % až po přístroje třídy přesnosti 0,001 %.

Čemu vděčí číslicové multimetry za tak mohutný rozmach? Především celé řadě podstatných i méně podstatných výhod proti klasickým ručkovým přístrojům. Tyto výhody jsme se pokusili shrnout do následujícího přehledu.

Přednosti číslicové měřicí techniky

Rychlost a přesnost čtení velikosti měřené veličiny

Srovnejme čtení údaje ručkového (analogového) a číslicového přístroje. Při čtení údaje analogového měřidla musíme nejdříve zkontrolovat polaritu měřené veličiny podle polohy přepínače polarity nebo častěji podle způsobu připojení měřicích přívodů, dále musíme určit měřicí rozsah, přečíst údaj interpolací dílků stupnice v blízkosti ručky a do takto zjištěného čísla vhodně „umístit“ desetinnou čárku. Přitom často dochází k chybě způsobené čtením údaje z různých úhlů (paralaxa).

Naproti tomu u číslicových měřicích přístrojů se čte údaj i s polohou desetinné tečky okamžitě spolu s údajem o polaritě. Údaj je přitom viditelný při jakékoli intenzitě okolního osvětlení.

Možnost automatické volby polarity a rozsahů

Kromě automatického určení polarity měřeného napětí nebo proudu, jímž je vybavena naprostá většina multimetrů, je řada z nich vybavena i automatickou volbou rozsahů, což dále zjednodušuje a zrychluje měření.

Přesnost a linearita měření

Zatímco klasické ručkové měřicí přístroje mají běžně přesnost kolem 1 % (maximálně 0,1 %), měří číslicové přístroje běžně s přesností 0,1 %, přičemž maximální dosažitelná přesnost je lepší než 0,001 % z měřeného údaje; totéž platí i o linearitě měření.

Potlačení rušivých signálů

Jak uvidíme dále, používají se u číslicových měřicích přístrojů takové metody analogově číslicového převodu, které bez použití vstupních filtrů umožňují potlačit rušivé signály, superponované na měřené veličině. Vhodným uspořádáním vstupních obvodů se potlačují i souhlasná rušivá napětí, objevující se na obou svorkách zdroje měřeného signálu.

Odolnost proti přetížení

Multimetry jsou zpravidla vybaveny obvody pro automatickou ochranu proti přetížení (zejména u nižších rozsahů), takže lze na jejich vstup připojit až tisíckrát větší signál, než jaký odpovídá zvolenému rozsahu. Bezprostředně po odstranění přetížení je přístroj schopen správně měřit.

Vstupní odpor

Vstupní odpor ručkových měřidel bývá běžně 20 až 200 kΩ/V. Číslicové měřicí přístroje mají na nižších rozsazích vstupní odpor větší až o čtyři řády (až 10 000 MΩ) a na vyšších rozsazích až o dva řády (10 MΩ), což má samozřejmě příznivý vliv na přesnost měření, zejména při měření napětí na velkých impedancích.

Rychlost měření

Na rozdíl od ručkových měřidel, u nichž je rychlost měření určena především dobou ustálení ručky (řádově sekundy), je u číslicových měřicích přístrojů rychlost měření určena pouze dobou, potřebnou k převodu vstupní analogové veličiny na číslicový údaj. Tuto dobu lze vhodnou volbou metody analogově číslicového převodu zkrátit na µs. I běžné číslicové voltmetry a multimetry mají však dobu převodu v rozmezí 20 až 300 ms, což umožňuje sledovat pomalu se měnící signály a pomocí vzorkovacích obvodů i rychle se měnící signály a krátké napěťové impulsy.

Možnost záznamu výsledků měření

Číslicový údaj úměrný měřené veličině lze často vyvést z číslicového měřicího přístroje ve formě binárních signálů (tj. signálů, které mohou nabývat pouze dvou velikostí). Tyto binární signály je možno trvale zaznamenat např. děrovačem děrné pásky nebo tiskárnou. Díky tomu lze automatizovat rozsáhlá měření a výsledky zpracovat později.

Možnost přenosu výsledků měření na velké vzdálenosti

Přenos analogových signálů po vedení je možný jen do určité vzdálenosti. Tato vzdálenost je přímo úměrná velikosti přenášeného signálu a nepřímo úměrná velikosti rušení a útlumu vedení. Proto je výhodný zejména při přenosu malých signálů jejich převod na binární signály s dostatečnou amplitudou a šumovou imunitou (odolností proti rušení).

Popsané výhody číslicové měřicí techniky jsou (snad kromě tří naposled jmenovaných) velmi zajímavé i pro radioamatéry.

Jediným důvodem, proč se dosud tento moderní a perspektivní druh měřicí techniky

neprosadil v širokém měřítku mezi amatéry, je neúměrně vysoká cena potřebných součástek. V zapojení číslicového multimetru se používá kombinace některých poměrně drahých analogových součástek (operačních zesilovačů, referenčních prvků, přesných odporů atd.) a ještě dražších číslicových logických obvodů (čítače, paměti, dekodéry atd.). Náklady na stavbu číslicového multimetru jsou tak značné, že je třeba důkladně rozvážit koncepci přístroje zejména z hlediska funkčního vybavení a požadovaných parametrů. Podívejme se napřed, které elektrické veličiny mohou číslicové multimetry měřit, a určeme ty, které jsou pro amatérskou praxi nejdůležitější.

Elektrické veličiny, které mohou číslicové multimetry měřit

Číslicové multimetry mohou měřit
- a) stejnosměrné napětí,
- b) střídavé napětí,
- c) stejnosměrný proud,
- d) střídavý proud,
- e) odpor,
- f) kapacitu,
- g) indukčnost,
- i) kmitočet,
- j) periodu,
- k) časový interval.

Pro naprostou většinu uživatelů je nejdůležitější měřenou veličinou stejnosměrné napětí. Vzhledem k časté potřebě měřit napětí odvozená ze sítě a napětí zvukových kmitočtů, je pro amatéry důležitá i možnost měřit střídavá napětí. Máme-li citlivý voltmetr s dostatečně velkým vstupním odporem, je celkem snadné měřit pomocí vhodných předřadných odporů proudy. Vybavení číslicového multimetru možností měřit proudy proto není nevyhnutelně nutné. Zato možnost měřit odpory jako nejvíce používané pasívní prvky považujeme za velmi potřebnou (na rozdíl od potřeby měřit kapacity a indukčnosti, která se vyskytuje méně často). Měřit kmitočet, periodu a časové intervaly lze u číslicových měřicích přístrojů poměrně snadno – je však třeba rozšířit nejnákladnější (číslicové) části multimetru. Levný amatérský číslicový multimetr se tedy bude muset obejít i bez této možnosti.

Když jsme si určili nejdůležitější elektrické veličiny, které by měl číslicový multimetr pro amatérskou praxi měřit (stejnosměrné napětí, střídavé napětí a odpory), můžeme se zaměřit na definování některých základních parametrů číslicových multimetrů a jejich určení z hlediska potřeb amatérů a nutných nákladů na stavbu.

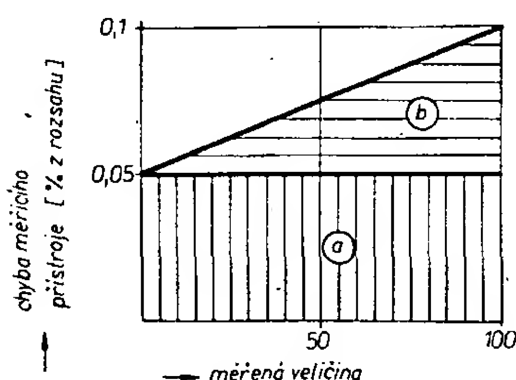
Základní vlastnosti číslicových multimetrů

Přesnost

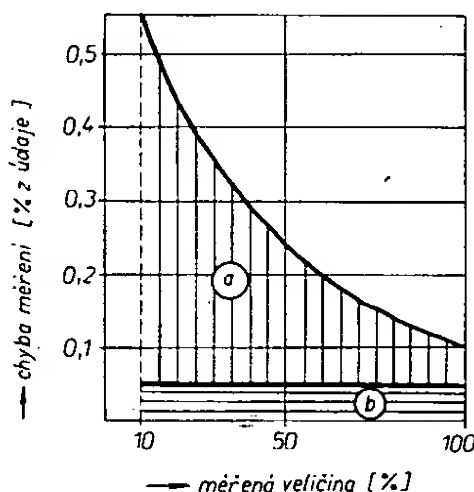
Přesnost číslicových měřicích přístrojů se určuje poněkud odlišně od přesnosti ručkových měřidel, a proto se jí věnujeme podrobněji. Zdroje chyb číslicových měřicích přístrojů je možno rozdělit do dvou skupin:

a) *pevné chyby*, tj. chyby nezávislé na velikosti vstupního signálu. Tyto chyby jsou způsobeny např. posunutím (driftem) nuly vstupního zesilovače, „vnitřními" šumovými vlastnostmi přístroje, zbytkovým napětím spínačů apod. Do této skupiny patří také chyba kvantování. Tato chyba je společná všem číslicovým měřicím přístrojům a je způsobena tím, že diskrétní hodnota číslicového údaje se může lišit od měřené analogové hodnoty až o polovinu hodnoty nejnižší číslice. Tak např. číslicový voltmetr s třímístnou indikací ukazuje napětí 9,95 V při měřených úrovních 9,945 až 9,995 V. Chyba kvantování tedy dosahuje ±0,05 % z měřicího rozsahu. Pevné chyby se vyjadřují v procentech z měřicího (plného) rozsahu. (Často se používá symbol FS – z anglického full scale).

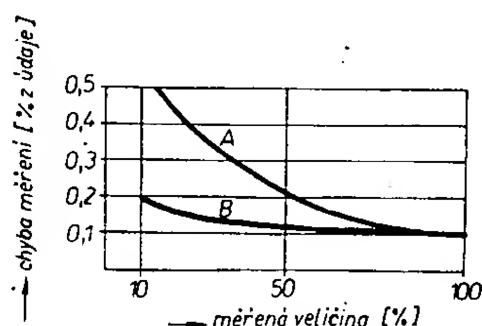
b) *chyby úměrné velikosti vstupního signálu* tvoří druhou skupinu chyb vznikajících v číslicových měřicích přístrojích. Jsou způsobeny chybami zisku zesilovače, vstupního děliče, vnitřního referenčního napětí apod. Tyto chyby se projeví především při měření hodnot blízkých maximální, jmenovité hodnotě zvoleného rozsahu. Se zmenšováním měřené veličiny se jejich vliv zmenšuje. Vyjadřují se proto v procentech z měřeného údaje (R – z anglického reading).



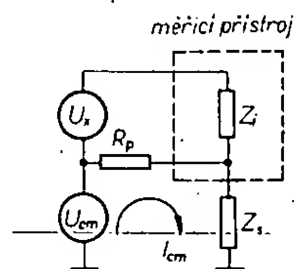
Obr. 1. Závislost chyb číslicového měřicího přístroje na velikosti měřené veličiny (chyby jsou vztaženy k maximální hodnotě rozsahu)



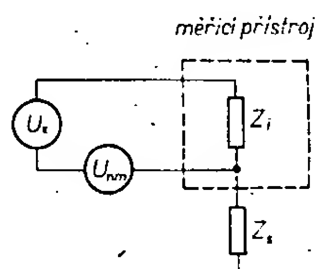
Obr. 2. Závislost chyby měření na velikosti měřené veličiny (chyby jsou vztaženy k měřené veličině)



Obr. 3. Závislost chyby měření na měřené veličině pro dva různé přístroje se stejnou celkovou přesností při měření plného rozsahu



Obr. 4. Souhlasné rušivé napětí



Obr. 5. Sériové rušivé napětí

Vliv obou uvedených chyb na přesnost měření lze snadno vyjádřit graficky. Na obr. 1 je vynesena závislost celkové chyby měření na velikosti měřené veličiny. Celková chyba je na obrázku rozdělena na chybu pevnou (*a* – svisle šrafovaná oblast) a chybu závislou na měřeném údaji (*b* – vodorovně šrafovaná oblast).

Popsané chyby byly způsobeny v podstatě nedokonalostí přístroje. Velmi často však dochází k mnohem větší chybě, měříme-li veličiny, které jsou menší než jmenovitá hodnota zvoleného rozsahu. Pro přístroj s definovanou přesností ±0,05 % z plného rozsahu ±0,05 % z měřeného údaje je na obr. 2 vynesena závislost skutečné chyby měření na velikosti „zaplnění" rozsahu. Vidíme, že zde má na přesnost měření převažující vliv pevná chyba (*a*), která se zvětšuje se zmenšováním měřené veličiny, zatímco chyba závislá na měřené veličině (*b*) zůstává konstantní. Podstatné rozdíly mezi oběma grafy jsou způsobeny tím, že chyby na obr. 1 jsou vztaženy k maximální hodnotě zvoleného rozsahu, zatímco chyby na obr. 2 jsou vztaženy k velikosti měřené veličiny.

Na obr. 3 jsou vyneseny závislosti chyby na měřené veličině pro dva přístroje s definovanou přesností:

A: ±0,05 % R, ±0,05 % FS,
B: ±0,09 % R, ±0,01 % FS.

Přestože celková chyba obou přístrojů při měření údaje, odpovídajícího plnému měřicímu rozsahu (100 %) je stejná, vyplývá z grafů, že přístroj *B* je výrazně lepší, neboť je při měření údaje rovnajícího se 10 % plného rozsahu více než dvakrát přesnější než přístroj *A*.

Z hlediska uživatele je tedy z obou uváděných přesností důležitější přesnost z plného rozsahu (FS).

Schopnost měřicího přístroje měřit přesně nezávisí jen na jeho přesnosti, která je zpravidla definována za optimálních podmínek, ale je často ovlivněna vnějšími činiteli jako je teplota, vlhkost, impedance měřeného zdroje a také přítomnost rušivých, nežádoucích signálů, superponovaných na měřenou veličinu. Tyto činitele často výrazně ovlivňují přesnost měření. Proto si dále všimneme těch parametrů elektronických měřicích přístrojů, které definují schopnost potlačit vliv vnějších činitelů na měření.

Potlačení rušivých signálů

Rušivé signály, vyskytující se při měření elektrických veličin, je možno rozdělit do dvou skupin:

a) souhlasné rušivé signály (common-mode),

b) sériové rušivé signály (normal-mode).

Toto rozdělení vyplývá ze způsobů zapojení zdrojů rušivého signálu vůči zdroji měřeného signálu. Souhlasný rušivý signál U_{cm} podle obr. 4 se projevuje ve stejné fázi na obou svorkách měřeného signálu U_x. Rušivý proud I_{cm} tekoucí tzv. zemní smyčkou ze zdroje U_{cm} přes impedanci měřicího obvodu Z_i k zemní svorce může vytvořit na odporu R_p (např. odpor nevyváženi přívodů) nežádoucí úbytek napětí, který se přičítá k měřenému signálu a způsobuje chybu měření. Na obr. 5 je zapojení sériového rušivého signálu U_{nm} (v sérii s měřeným signálem U_x). Zde je vliv na přesnost měření zcela zřejmý.

Schopnost měřicího přístroje potlačovat vliv těchto nežádoucích rušivých signálů na přesnost měření je definována pomocí vztahů:

$$\mathrm{CMRR} = 20 \log \frac{U_{cm}}{\Delta U} \quad [\mathrm{dB}] \qquad (1),$$

$$\mathrm{NMRR} = 20 \log \frac{U_{nm}}{\Delta U} \quad [\mathrm{dB}] \qquad (2),$$

kde CMRR je symbol pro potlačení souhlasného rušení (common-mode rejection factor), NMRR je označení pro potlačení sériového rušení, U_{cm} je souhlasný rušivý signál, U_{nm} je sériový rušivý signál a ΔU je chyba údaje měřidla, způsobená rušením.

Parametr potlačení rušivých signálů se tedy určuje poměrem rušivého a chybového signálu, vyjádřeného v decibelech. Při určování CMRR je samozřejmě nutné definovat i odpor R_p (viz obr. 4), neboť ΔU na něm přímo závisí. Nejčastěji se používá R_p = 1 kΩ, někdy je však CMRR definováno i pro R_p = 100 Ω, což dává údaje větší o 20 dB.

Způsob, jak dosáhnout velkého potlačení souhlasných rušivých signálů, vyplývá z obr. 4. Čím větší bude impedance Z_i, tím menší bude I_{cm} a tedy i nežádoucí úbytek na odporu R_p. Velkých Z_i se dosahuje galvanickou izolací vstupních obvodů měřicího přístroje od zemního potenciálu síťového napětí. Ideální izolace lze dosáhnout napájením z baterií. To je však pro číslicové měřicí přístroje s tuzemskými součástkami nereálné vzhledem k poměrně značné spotřebě zejména číslicových logických obvodů TTL. U číslicových multimetrů, u nichž se neočekává další zpracování výsledků (např. připojením na tiskárnu) lze galvanicky izolovat celý měřicí přístroj síťovým transformátorem. Izolací vstupních obvodů lze potlačit stejnosměrné i střídavé rušivé signály.

Naproti tomu sériové rušení lze účinně potlačit pouze tehdy, je-li měřený signál stejnosměrný a má-li sériový rušivý signál střídavý periodický průběh. K potlačení se používá:

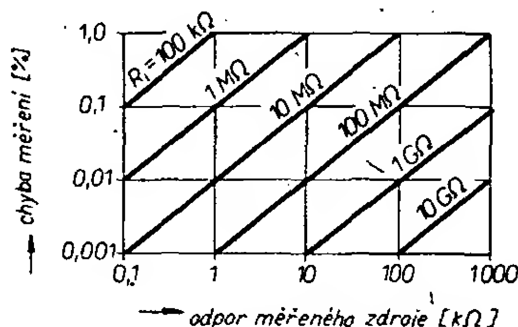
a) filtrace pasívními nebo aktivními filtry,
b) integrace měřeného napětí.

Nevýhodou potlačení filtry je zpravidla velká časová konstanta, která značně zmenšuje možnou rychlost měření.

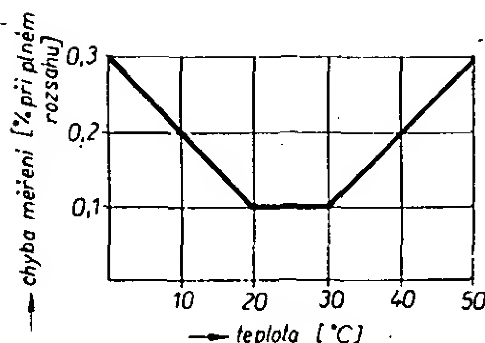
Při integraci měřeného napětí tzv. integračními metodami analogově číslicového převodu, které budou popsány dále, je sériově rušící signál velmi dobře potlačen pouze v okolí vybraného kmitočtu a jeho násobků. Proto je nutné uvést u sériového potlačení i oblast kmitočtu rušení, pro kterou tento parametr platí.

Vstupní impedance, vstupní proud

Jedním z činitelů ovlivňujících přesnost měření je i vnitřní impedance zdroje měřeného napětí. Vstupní proud měřicího přístroje vytváří na této impedanci úbytek napětí, který se přičítá k měřenému napětí a způsobuje chybu měření. Vstupní proud přístroje je určen poměrem měřeného napětí a vstupní impedance, avšak také vstupním proudem operačního zesilovače. Na obr. 6 je závislost chyby měření na odporu zdroje měřeného signálu pro různé vstupní odpory R_i měřicího přístroje. Číslicový měřicí přístroj pro amatérské použití s přesností asi 0,1 % by měl mít vstupní odpor nejméně 10 MΩ; to umožňuje měřit signály ze zdrojů s vnitřním odporem



Obr. 6. Závislost chyby měření na odporu měřeného zdroje pro různé vstupní odpory měřicího přístroje



Obr. 7. Teplotní závislost chyby měření (v % plného rozsahu) pro měřicí přístroj s definovanou přesností (±0,05 % R ±0,05 % FS a TK = 100 ppm/ °C)

do 10 kΩ bez omezení přesnosti. Vstupní proud přístroje s citlivostí 1 mV by neměl být větší než 100 nA.

Teplotní a dlouhodobá stabilita

Číslicový měřicí přístroj musí být schopen uchovat si svoje parametry a zejména přesnost po určitou dobu a v určitém teplotním rozsahu. Dlouhodobá stabilita je zpravidla definována přesností zaručovanou po dobu 90 dní, případně 1 roku (pak je zaručovaná přesnost menší). Po této době je přístroj nutno znovu překalibrovat. Protože amatéři nemají zpravidla možnost časté kalibrace, musí být jejich přístroj navržen podle možností tak, aby jeho přesnost byla dlouhodobě přijatelná.

Mezi důležité parametry číslicových měřicích přístrojů patří i teplotní stabilita. Vzhledem k tomu, že většina analogových prvků číslicových multimetrů je teplotně závislá, zaručuje se udávaná přesnost pouze v určitém omezeném teplotním rozsahu (např. 25 °C ±5 °C). Přesnost při libovolné teplotě se určí pomocí teplotního koeficientu (TK), udávaného v %/°C nebo v jednotkách ppm (part per million, tj. 10^{-6}). Na obr. 7 je teplotní závislost chyby číslicového měřicího přístroje s udávanou přesností a TK:

±0,05 % R, ±0,05 % FS (při 25 °C ±5 °C),
TK = 0,01 %/°C (100 ppm/°C).

Vzhledem k tomu, že se v amatérské praxi číslicové měřicí přístroje používají v prostředí s nevelkým rozsahem pracovních teplot, postačí TK = 100 ppm/°C tak, jak je uveden v příkladu na obr. 7.

Ostatní parametry, jako rychlost převodu, rozlišovací schopnost (citlivost), dovolené přetížení, příkon apod. jsou jednoznačné a nepotřebují bližší komentář.

Na základě uvedených poznatků o parametrech číslicových měřicích přístrojů můžeme určit parametry, kterých by měl dosahovat číslicový multimetr pro amatérské použití. Přitom budeme mít na mysli zatím jen parametry, vztahující se k měření základní elektrické veličiny – stejnosměrného napětí.

Přesnost: ±0,1 % R, ±0,1 % FS (při 25 °C ±5 °C).
Teplotní koeficient TK: 100 ppm/°C.
Dlouhodobá stabilita: ±0,2 % R, ±0,2 % FS (za 1 rok).
Potlačení souhlasných signálů:
ss – CMRR > 100 dB,
50 Hz – CMRR > 80 dB.



Potlačení sériových signálů (50 Hz ±1 %): NMRR > 40 dB.
Vstupní odpor: min. 10 MΩ.
Rychlost převodu: 2 až 3 měření za sekundu.
Rozlišovací schopnost: min. 1 mV.

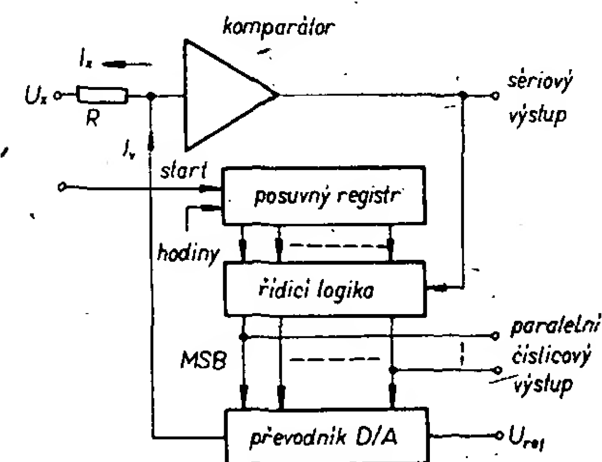
V další části uvedeme přehled používaných metod analogově číslicového převodu a určíme, která z nich je pro splnění zvolených funkcí a parametrů multimetru nejvhodnější.

2. Přehled metod číslicového měření napětí

Při výběru nejvhodnější metody analogově číslicového převodu bude rozhodující schopnost potlačit sériové rušivé signály, neboť ostatní uvedené parametry může v zásadě splnit návrh přístroje podle kterékoli známé metody. Potlačit sériové rušení bez vstupního filtru umožňují pouze tzv. integrační metody, a proto se jimi budeme zabývat podrobněji. Pro úplnost však ve stručnosti popíšeme i ostatní základní metody analogově číslicového převodu (převod A/D).

Kompenzační metoda

Tato metoda, nazývaná také metodou postupných aproximací, patří k nejstarším, avšak dodnes používaným metodám (zejména u rychlých převodníků A/D). Zjednodušené blokové schéma je na obr. 8. Binární



Obr. 8. Kompenzační metoda převodu A/D

nebo binárně dekadický (BCD) číslicový údaj je určován postupně bit po bitu, počínaje bitem s nejvyšší váhou (MSB). Celý převod je řízen posuvným registrem buzeným hodinovými impulsy. Řídicí logika obsahuje klopné obvody, které se nastavují pomocí výstupů posuvného registru a nulují v závislosti na stavu komparačního zesilovače. Výstupy klopných obvodů řídicí logiky ovládají spínače číslicově analogového (D/A) převodníku, které připojují na vstup komparátoru váhové proudy I_v, vytvořené pomocí referenčního napětí U_{ref} a odporové sítě. Po příchodu startovacího impulsu se nastaví první výstup posuvného registru a první klopný obvod řídicí logiky. Tím se připojí na vstup komparátoru největší váhový proud a porovná se s proudem I_x, úměrným měřenému napětí U_x. Je-li $I_v > I_x$, překlopí se komparátor tak, aby se první klopný obvod v řídicí logice vynuloval. Je-li $I_v < I_x$, zůstane první klopný obvod v původním stavu, čímž je připojen největší váhový proud. V dalším taktu se nastaví druhý klopný obvod a I_x se srovnává s druhou největší váhou (zůstal-li první klopný obvod připojen, srovnává se I_x s oběma největšími váhami). Tak postupuje převod až k poslednímu klopnému obvodu řídicí logiky. Po skončení převodu udávají stavy klopných obvodů číslicový údaj úměrný měřenému napětí U_x. Kromě tohoto paralelního výstupu lze využít i sériového výstupu, který se vytváří během převodu na výstupu komparátoru.

S touto metodou lze dosáhnout velké přesnosti (až ±0,001 % při použití speciálních indukčních děličů v D/A převodníku) a také velké rychlosti převodu (až 2 μs pro dvanáctibitový převodník). Tyto vlastnosti by však stěží našly u amatérského číslicového měřicího přístroje uplatnění. Naopak, značný počet přesných odporů a obtížné nastavování jednotlivých vah převodníku D/A jsou nevýhody, které brání využití této metody amatéry. Totéž platí i o různých dalších modifikacích této metody, např. čítacím nebo přírůstkovém převodníku A/D, který místo posuvného registru a řídicí logiky používá čítače.

Metoda pilovitého převodu (ramp method)

Tento způsob převodu A/D se před zavedením integračních metod dosti často používal právě u levných číslicových voltmetrů. Princip činnosti si vysvětlíme podle obr. 9. Napětí pilovitého průběhu s přesně definovaným sklonem a velkou linearitou se srovnává se dvěma napěťovými úrovněmi: s měřeným napětím U_x a zemní úrovní. Jakmile bude napětí pilovitého průběhu nulové, překlopí se komparátor KZ_2 a otevře se hradlo mezi oscilátorem hodinových impulsů a čítačem. Čítač (předtím vynulovaný) začne čítat impulsy až do okamžiku, kdy napětí pilovitého průběhu dosáhne úrovně U_x, překlopí se komparační zesilovač KZ_1 a hradlo se uzavře. Má-li pilovitý průběh konstantní sklon a je-li konstantní kmitočet oscilátoru, potom stav čítače odpovídá měřenému napětí U_x.

Proti kompenzační metodě je zde zřejmá zejména nutnost menšího počtu přesných součástek. Co nejstabilnější musí být pouze ty prvky, které určují strmost a linearitu napětí pilovitého průběhu a kmitočet oscilátoru. Pro požadovanou stabilitu hodinových impulsů je nutno použít krystalem řízený oscilátor. Protože ani u této metody se nedosáhne potlačení sériových rušivých signálů, zařadíme ji opět mezi ty, které nejsou příliš vhodné pro amatérské použití.

Integrační metody A/D převodu

Jak již bylo uvedeno, vliv sériových střídavých rušivých signálů, superponovaných na měřený stejnosměrný signál lze potlačit integrací měřeného napětí. Předpokládejme, že rušivé napětí má periodický sinusový průběh podle obr. 10. Potom

$$\int_0^T f(t)\,dt = U_0 \int_0^T \sin \omega t\, dt = 0 \qquad (3),$$

neboť obsah plochy P_1 nad osou U_x je roven obsahu plochy P_2 pod osou U_x. Prakticky to vypadá tak, že při integraci konstantního napětí U_x se na výstupu integrátoru objeví lineárně se zvětšující signál (průběh A na obr. 11). Je-li na U_x superponováno rušivé napětí podle obr. 10, mění se napětí na výstupu integrátoru podle křivky B na obr. 11 tak, že vlivem kladné půlvlny P_1 vznikne právě v polovině integrace maximální chybový signál C, který se vlivem záporné půlvlny P_2 zmenšuje, až je na konci integrace zcela kompenzován.

Zatím jsme se zabývali pouze případem, kdy doba integrace T byla rovna periodě rušivého napětí T_r. Je zřejmé, že k úplnému potlačení rušivého signálu dojde i tehdy, bude-li doba integrace celistvým násobkem periody rušení (např. při $T = 2T_r$ bude rušení kompenzováno podle průběhu D na obr. 11). Není-li však doba integrace T celistvým násobkem T_r, uplatní se malá část rušivého signálu i po skončení integrace a způsobí chybu měření. Maximální chybu takto vzniklou můžeme přibližně vyjádřit vztahem:

$$\varepsilon_{max} = \frac{U_{šp} t_r}{2T} \qquad (4).$$

Význam jednotlivých symbolů je zřejmý z obr. 12.

Se zvyšováním kmitočtu rušivého signálu $f_r = \frac{1}{T_r}$ při konstatní době integrace T se maximální čas t_r zkracuje. Tím se zmenšuje i chyba ε_{max} a sériově rušivé signály (NMR) jsou více potlačovány. Na základě vztahů (3) a (4) lze odvodit závislost potlačení sériových rušivých signálů na jejich kmitočtů (obr. 13). Se zvyšováním kmitočtu rušení f_r se potlačení zvětšuje lineárně se sklonem 20 dB na dekádu, přičemž na kmitočetech, při nichž je perioda rušení T_r rovna celistvému násobku doby integrace T

$$T = kT_r, \text{ kde } k = 1, 2, \ldots, n \qquad (5)$$

je potlačení nekonečně veliké. Protože nejčastějším zdrojem rušení při číslicovém měření elektrických veličin jsou rušivé signály (brumy) o kmitočtu sítě ($f_r = 50$ Hz, $T_r = 20$ ms), volí se zpravidla doba integrace $T = k \times 20$ ms.

Protože síťový kmitočet často kolísá až o několik % kolem 50 Hz, zmenšuje se při pevné době integrace potlačení rušení síťového kmitočtu. Přesné číslicové voltmetry a multimetry proto často používají obvody pro synchronizaci doby integrace s periodou sítě.

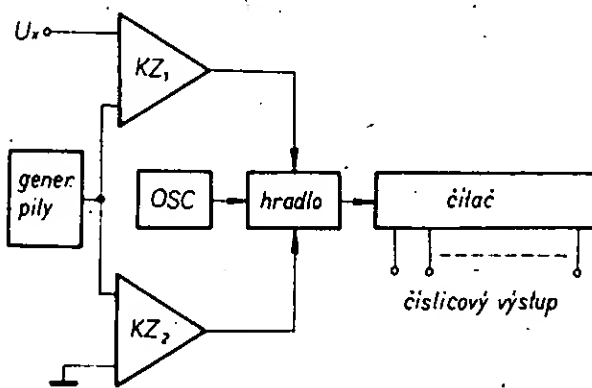
Potlačení sériového rušení však nezávisí jen na kmitočtu rušení, ale i na jeho fázi. Představme si, že vyšrafovaná plocha na obr. 12, vyjadřující nevykompenzovaný zbytek rušivého napětí, je malá vzhledem k celé ploše půlvlny. Potom je zřejmé, že tento zbytek bude v okolí nulových rušivých napětí menší, než v okolí jeho maximálních hodnot. Proto je výhodné synchronizovat také počátek doby integrace s okamžikem průchodu rušivého signálu nulou.

Integrační metody analogově číslicového převodu, tj. metody, u nichž se převáděné napětí integruje, můžeme rozdělit na dvě základní skupiny podle toho, na jakou pomocnou veličinu se měřené napětí převádí:

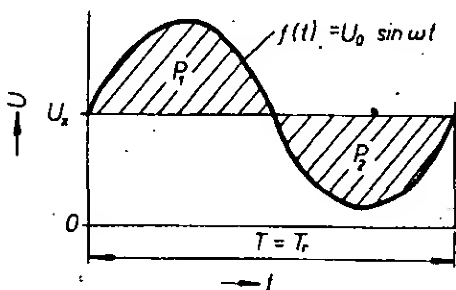
a) integrační metoda s mezipřevodem na kmitočet,

b) integrační metoda s mezipřevodem na časový interval.

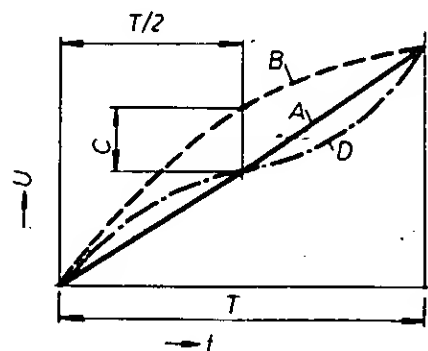
Z hlediska potlačení sériových rušivých signálů jsou obě metody rovnocenné. Na obr. 11 jsme si ukázali, jak rušivé napětí ovlivňuje výstup integrátoru a jak se integrací jeho vliv potlačuje. Tohoto způsobu integrace se využívá u metod s mezipřevodem na časový interval. U integrační metody s mezipřevodem na kmitočet se, jak již vyplývá z názvu, převádí měřené napětí nejdříve na kmitočet a ten se potom, jak uvidíme dále, převádí na číslicový údaj (čítáním po určitou pevně stanovenou dobu). Je-li opět tato doba čítání rovna periodě rušivého napětí (nebo jejímu násobku), potlačí se vliv rušivého napětí na přesnost měření. Tento způsob potlačení nám nejlépe objasní zjednodušené průběhy na obr. 14. Je-li na vstupu převodníku napětí-kmitočet pouze stejnosměrné měřené napětí U_x bez superponovaného rušení, objeví se na výstupu převodníku kmity konstantního kmitočtu, úměrného U_x. V našem příkladu (obr. 14b) se za dobu integrace T objeví 10 kmitů. Průběh na obr. 14c ukazuje kmity na výstupu převodníku, na jehož vstup bylo připojeno měřené napětí U_x



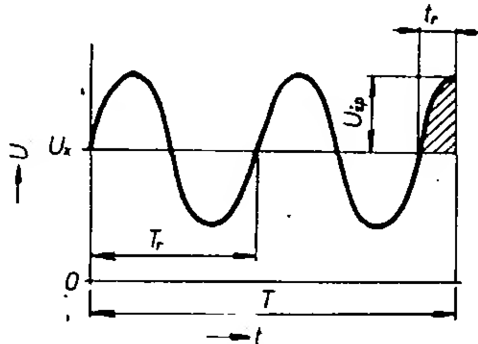
Obr. 9. Metoda pilovitého převodu



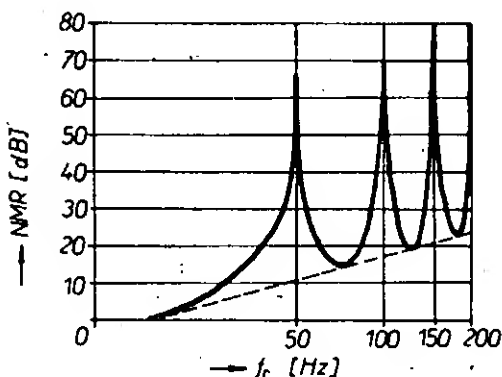
Obr. 10 Potlačení rušivého napětí integrací



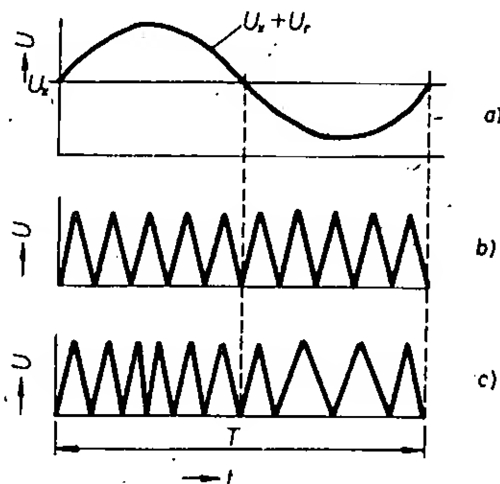
Obr. 11. Průběhy na výstupu integrátoru: A – integrace konstantního napětí U_x, B – integrace U_x se superponovaným rušením s periodou $T_r = T$, C – max. chyba způsobená rušením, D – integrace U_x se superponovaným rušením s periodou $T_r = T/2$



Obr. 12. Chyba vznikající při odchylce násobku periody rušení T_r od doby integrace T



Obr. 13. Závislost potlačení sériových rušivých signálů na jejich kmitočtu



Obr. 14. Potlačení sériových rušivých signálů integrační metodou s mezipřevodem na kmitočet

se superponovaným rušivým napětím U_r (obr. 14a). Vidíme, že se při zvětšování napětí (při kladné půlvlně) kmitočet zvyšuje a naopak. K opačné situaci dochází při záporné půlvlně – kmitočet se nejdříve snižuje a potom opět zvyšuje. Přitom celkový počet kmitů za dobu integrace T je stejný jako na obr. 14b. Vliv rušivého signálu U_r byl tedy potlačen.

V další části si všimneme blíže principů činnosti obou jmenovaných integračních metod.

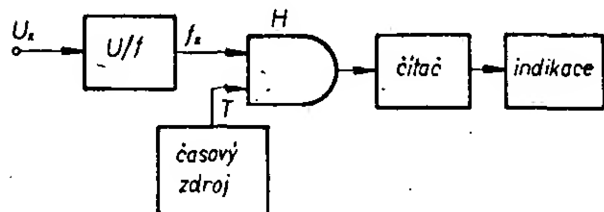
Integrační metoda s mezipřevodem na kmitočet

Nejjednodušší blokové schéma převodníku využívajícího této metody je na obr. 15. Měřené napětí U_x se nejdříve převádí na kmitočet f_x převodníkem napětí-kmitočet (U/f). Kmity f_x se potom přivádějí přes hradlo H do čítače po dobu T. Interval T závisí na činnosti „časového zdroje". Byl-li čítač na začátku intervalu T vynulován, je jeho stav na konci intervalu T úměrný měřenému napětí U_x a může se jako výsledek převodu zobrazit vhodným indikačním zařízením.

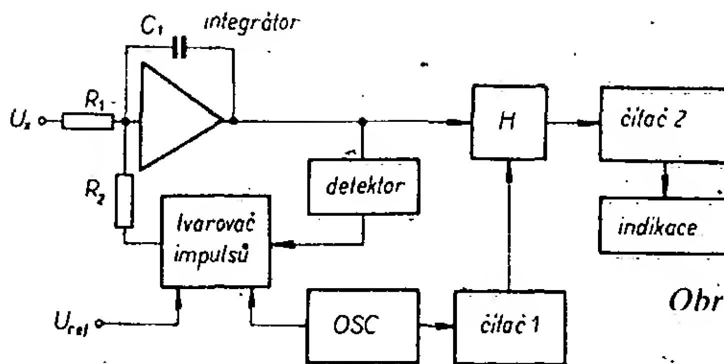
Popsaný systém patří k obvodům s otevřenou smyčkou, takže výsledná přesnost je ovlivněna přesností a linearitou převodníku U/f i zdroje časového intervalu. Tyto nedostatky odstraňuje zpětnovazební systém, jehož blokové schéma je na obr. 16.

Vstupní měřené napětí U_x se přivádí na vstup integrátoru, tvořeného operačním zesilovačem s kapacitní zpětnou vazbou. Proud tekoucí vstupním odporem R_1 vytváří na výstupu integrátoru lineárně se zvětšující napětí. Dosáhne-li toto napětí předem zvolené prahové úrovně, překlopí se detekční obvod, jehož výstup řídí obvod tvarovače impulsů. Z tvarovače se přesně definovaný náboj zavádí přes odpor R_2 na vstup integrátoru. Tímto nábojem se vybije integrační kondenzátor C_1 a napětí na výstupu integrátoru se prudce zmenší na výchozí (nulovou) úroveň a znovu se začne zvětšovat. Tento děj se stále opakuje, takže na výstupu integrátoru se objeví pilovité kmity. Chceme-li, aby střední hodnota tohoto průběhu byla konstantní, musí se náboj dodaný do integrátoru ze vstupního napětí U_x rovnat náboji odebranému zpětnou vazbou. Je-li tento náboj konstantní, je potom kmitočet signálu pilovitého průběhu na výstupu integrátoru přesně úměrný velikosti vstupního proudu a tím i U_x za předpokladu, že R_1 je přesný stabilní odpor. Amplituda a šířka impulsů zaváděných přes R_2 na vstup integrátoru musí být tedy přesně definována. Toho se dosáhne tím, že je šířka impulsů řízena oscilátorem hodinových impulsů a jejich amplituda je určena stabilním referenčním napětím U_{ref}. Oscilátor zároveň určuje dobu integrace T (tj. dobu čítání kmitů na výstupu integrátoru) pomocí vhodného děliče kmitočtu (čítač 1).

Jakákoli změna kmitočtu oscilátoru vyvolá takovou změnu šířky vybíjecích zpětnovazebních impulsů a zároveň i změnu doby integrace T, že počet kmitů načítaných čítačem 2 zůstane nezměněn. Z toho vyplývá, že kmitočet oscilátoru nemusí být velmi stabilní. Velké nejsou ani nároky na linearitu vzestup-



Obr. 15. Princip integrační metody s mezipřevodem na kmitočet



Obr. 16. Zpětnovazební systém s převodníkem napětí–kmitočet

né části pilovitého průběhu kmitů integrátoru, takže v integračním obvodu může být použit velmi jednoduchý zesilovač (s jediným tranzistorem).

Blokové schéma na obr. 16 popisuje pouze základní princip této metody analogově číslicového převodu. Je známa řada variant využívajících převodníků napětí-kmitočet. Jejich popis by však přesáhl rámec tohoto přehledu.

Integrační metoda s mezipřevodem na časový interval

Princip této metody, nazývané také metodou s dvojí integrací (dual slope, up-down integration, dual ramp method), si vysvětlíme pomocí průběhu na obr. 17 a blokového schématu na obr. 18.

Celý převod je možno rozdělit do dvou časových intervalů T_1 a T_2. Po dobu T_1 je vstupním přepínačem *Př* připojeno na vstup integrátoru (integrační zapojení operačního zesilovače, OZ) měřené vstupní napětí U_x. Napětí U_i na výstupu integrátoru se lineárně zvětšuje, takže na konci intervalu T_1 dosáhne velikosti:

$$U_1 = \frac{1}{RC} \cdot \int_0^{T_1} U_x \mathrm{d}t = U_x \frac{T_1}{RC} \qquad (6),$$

kde RC je časová konstanta integrátoru. Během intervalu T_2 je na vstup integrátoru připojeno referenční napětí U_R opačné polarity vzhledem k U_x. Napětí na výstupu integrátoru se lineárně zmenšuje, až na konci časového intervalu T_2 dosáhne výchozí (nulové) velikosti. Můžeme psát:

$$U_1 - \frac{1}{RC} \int_0^{T_2} U_R \mathrm{d}t = 0 \qquad (7).$$

Dosadíme-li za U_1 ze vztahu (6) a předpokládáme-li, že U_R je konstantní, platí:

$$U_x \frac{T_1}{RC} - U_R \frac{T_2}{RC} = 0 \qquad (8).$$

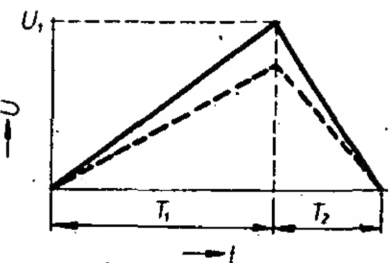
Po úpravě dostaneme vztah

$$U_x = U_R \frac{T_2}{T_1} \qquad (9).$$

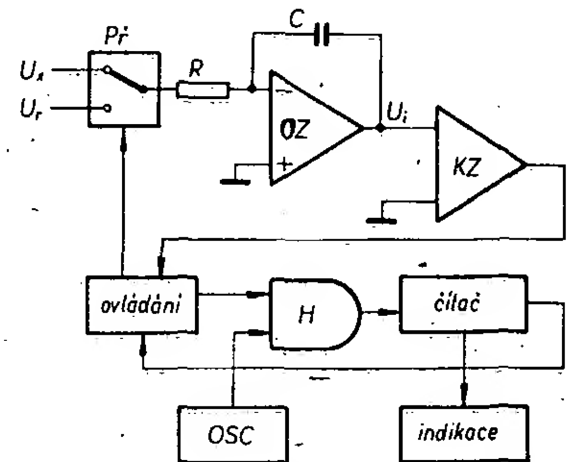
Protože U_R i T_1 mají konstantní velikost, je U_x přímo úměrné T_2, tedy časovému intervalu, po který je připojeno referenční napětí.

Časový interval T_1 se získává zaplněním čítače hodinovými impulsy z oscilátoru. Ovládací obvody řídí přepínač *Př* a hradlo H. Na začátku převodu připojí *Př* napětí U_x na vstup integrátoru a hradlo H se otevře. Po zaplnění čítače se *Př* přepne na U_R a hradlo H zůstane otevřeno, takže čítač se začne znovu zaplňovat impulsy z oscilátoru. Zmenší-li se napětí na výstupu integrátoru na nulu, překlopí se komparační zesilovač KZ a pomocí ovládací logiky odpojí *Př od* U_R a uzavře hradlo H. Stav čítače je potom přímo úměrný časovému intervalu T_2 a tedy podle vztahu (9) i vstupnímu napětí U_x.

Ze vztahu (9) také vyplývá, že přesnost převodu nezávisí na stabilitě integračního odporu R_1 a kondenzátoru C_1, což vyplývá i z obr. 17, kde je čárkovaně průběh na výstupu integrátoru při změně časové konstanty RC. Zmenšený sklon při integraci U_x (interval T_1) se kompenzuje zmenšením sklo-



Obr. 17. Metoda s dvojí integrací – průběh na výstupu integrátoru



Obr. 18. Blokové schéma integrační metody s mezipřevodem na časový interval

nu při integraci U_R (interval T_2), neboť v obou případech se využívá stejných prvků (R_1, C_1). Stejným způsobem se eliminuje také případná nestabilita kmitočtu oscilátoru (neuvažujeme přitom vliv sériového rušení). Zmenší-li se např. kmitočet oscilátoru, prodlouží se interval T_1, takže na jeho konci bude napětí na výstupu větší. Toto zvětšení eliminuje zmenšení počtu impulsů čítaných čítačem během intervalu T_2, takže výsledný počet impulsů bude stejný jako před snížením kmitočtu. Předpokladem pro úspěšnou kompenzaci driftu časové konstanty integrátoru i kmitočtu oscilátoru je, že se tyto veličiny nesmí změnit během jednoho převodu. Protože k těmto driftům dochází nejčastěji vlivem teplotních změn, které jsou ve srovnání s dobou převodu mnohem pomalejší, je náš předpoklad oprávněný.

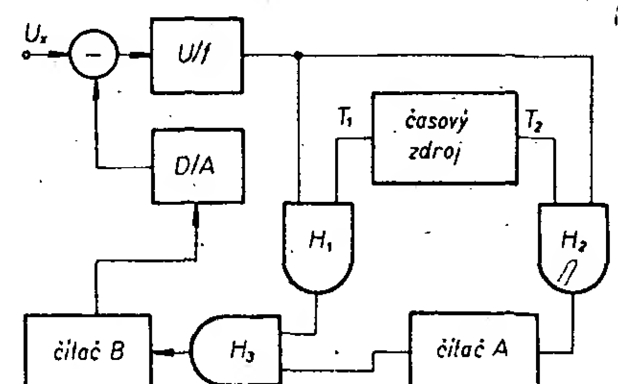
Popsané čtyři základní metody analogově číslicového převodu jsou používány výrobci číslicových měřicích přístrojů v řadě nejrůznějších variant a provedení. Kromě toho bylo také vyvinuto několik metod, které jsou kombinacemi uvedených základních principů. Protože některé z nich by mohly být zajímavé i pro amatérské použití, zmíníme se krátce i o těchto kombinovaných principech.

Kombinované metody analogově číslicového převodu

Integračně kompenzační metoda

Tato metoda, vyvinutá před deseti lety u firmy Hewlett-Packard, slučuje v sobě výhody kompenzačního i integračního principu. Lze s ní dosáhnout velkých přesností (až 0,001 %) a současně i schopnosti potlačit sériově rušivé signály. Zjednodušený princip činnosti si vysvětlíme na blokovém schématu na obr. 19.

Předpokládejme, že na počátku převodu jsou oba čítače (A a B) vynulovány a tedy i napětí na výstupu číslicově analogového



Obr. 19. Kombinovaná integračně kompenzační metoda analogově číslicového převodu

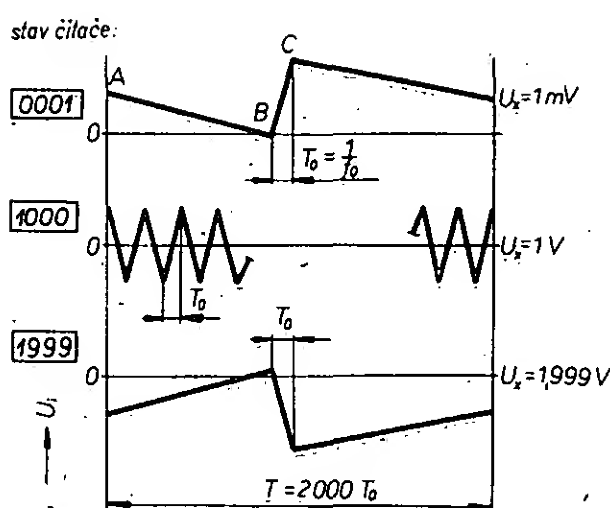
(D/A) převodníku, připojeného k výstupům čítače B, je nulové. Převodník napětí-kmitočet (*U/f*) tedy převede měřené napětí U_x na kmitočet, který se po dobu T_1 pouští do čítače B přes hradla H_1 a H_3. Na konci intervalu T_1 odpovídá stav čítače s určitou přesností napětí U_x. Tento stav čítače B se převodníkem D/A převede zpět na napětí, které po odečtení od napětí U_x vytvoří chybové napětí, které se znovu přivede na vstup převodníku *U/f*. Kmitočet odpovídající tomuto napětí se v časovém intervalu T_2 přivádí přes hradlo H_2 do čítače A. Po skončení převodu odpovídá měřenému napětí číslo vytvořené ze stavů obou čítačů, přičemž nižší řády jsou v čítači B a vyšší řády v čítači A. Má-li například čítač B rozsah čtyř dekadických řádů a čítač A dvou dekadických řádů, je výsledný číslicový údaj šestimístný. To odpovídá rozlišovací schopnosti 1 : 1 000 000. Takové vlastnosti pochopitelně nejsou u amatérských měřicích přístrojů nutné. Složitost zapojení přístroje je značná, takže lze říci, že tato metoda není pro náš účel vhodná, i když patří k nejdokonalejším.

Pro nás jsou mnohem zajímavější metody, o nichž by se dalo říci, že jsou jakousi kombinací obou integračních metod, tedy metody s mezipřevodem na časový interval (*U/t*) a metody s mezipřevodem na kmitočet (*U/f*). První z nich byla již popsána v AR 1/1976, proto jen stručně popíšeme její princip.

Metoda s vyrovnáním náboje (charge balancing)

Na obr. 20 je zjednodušené schéma převodníku, pracujícího na tomto principu, používaného u americké firmy Keithley. Rozdíl proti metodě s dvojí integrací (dual slope) spočívá v tom, že interval, po který se integruje měřené napětí U_x, není pevný, ale trvá pouze do okamžiku, kdy napětí na výstupu integrátoru (IZ) dosáhne prahové úrovně. Potom se na vstup integrátoru připojí referenční proud I_{ref} takové polarity, aby se napětí na výstupu integrátoru zmenšovalo. Je-li znovu překročena prahová úroveň, referenční proud se odpojí a integrační kondenzátor *C* se začne znovu nabíjet. Čítač, jehož stav na konci převodu odpovídá U_x, je buzen hodinovými impulsy o kmitočtu f_0 pouze v době, kdy je připojen referenční proud, a v době konstantního časového intervalu *T* odvozeného zpravidla od f_0. Na obr. 20 je integrátor IZ vytvořen integračním zapojením operačního zesilovače, detektor prahové úrovně KZ operačním zesilovačem. Spínač referenčního proudu I_{ref} (tvořený diodami D_1 a D_2) je ovládán klopným obvodem typu D, který reaguje na změnu stavu komparátoru KZ s příchodem hodinového impulsu. Nejsnáze lze pochopit funkci převodníku z průběhů na obr. 21.

Předpokládejme, že U_x má jmenovitou (maximální měřitelnou) velikost 2 V, obsah čítače je max. 2000 impulsů, I_{ref} = 1 mA a *R* = 2 kΩ. Na prvním grafu je průběh na výstupu integrátoru při U_x = 1 mV. Vlivem malého vstupního proudu (0,5 μA) se U_i zmenšuje velmi pomalu z náhodné výchozí polohy (bod *A*), až v bodě *B* překročí prahovou (v našem případě nulovou) úroveň. V tomto okamžiku se překlopí komparátor KZ a po příchodu hodinového impulsu



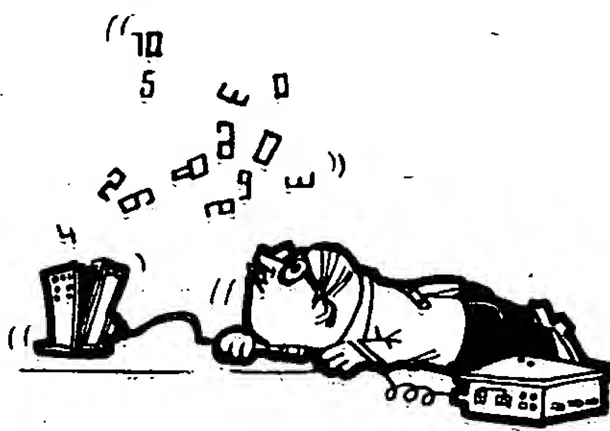
Obr. 21. Průběhy na výstupu integrátoru u metody s vyrovnáním náboje

i klopný obvod D, který připojí ke vstupu referenční proud; ten je ve srovnání se vstupním proudem mnohonásobně větší (1 mA). Napětí se prudce zvětší až do bodu *C*, kdy další hodinový impuls překlopil zpět klopný obvod (neboť komparátor již předtím změnil stav). Tím se také odpojí referenční proud a U_i se opět pomalu zmenšuje. Do čítače se během celého intervalu *T* dostal pouze jediný hodinový impuls (mezi okamžiky *B* a *C*), takže stav čítače po skončení převodu je 0001.

Na druhém grafu je průběh U_i pro měřené napětí U_x = 1 V. Při integraci měřeného napětí teče do integrátoru vstupní proud I_1 = 0,5 mA. Po připojení referenčního proudu I_{ref} = 1 mA odtéká tedy ze sčítacího bodu integrátoru IZ také 0,5 mA, takže U_i má průběh rovnoramenného trojúhelníku. Do čítače tedy projde polovina z celkového počtu 2000 impulsů a po skončení intervalu *T* je stav čítače 1000.

Třetí graf (obr. 21) ukazuje průběh na výstupu integrátoru IZ při U_x = 1,999 V. Vstupní proud je I_1 ≐ 1 mA, takže při připojení referenčního proudu jsou oba proudy téměř shodné a změna napětí U_i je velmi pomalá. Protože až na krátký okamžik T_0 po překročení nulové úrovně je stále připojen referenční proud, načítá čítač za dobu *T* 1999 impulsů, takže jeho stav na konci převodu odpovídá vstupnímu napětí U_x. Hlavní výhodou popsané metody je jednoduchost. Vždyť blokové schéma na obr. 20 se již příliš neliší od skutečného zapojení. Nevýhodami jsou unipolární provoz (U_x může mít pouze jednu polaritu) a především neschopnost potlačit sériově rušivé signály (bez vstupního filtru).

Další, poměrně nová metoda analogově číslicového převodu byla vyvinuta u firmy Philips speciálně pro obvody MOS LSI. Základním kritériem při návrhu této metody bylo zmenšit počet analogových a přesných

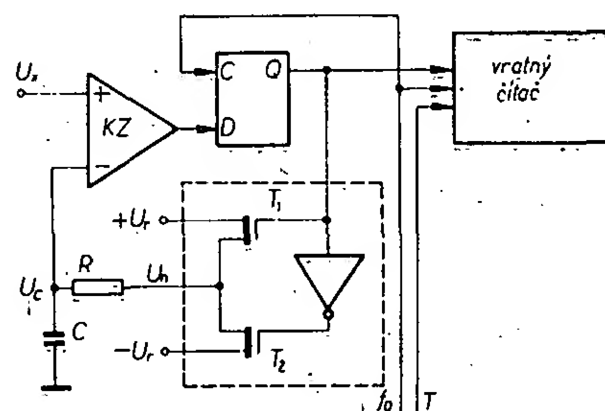


prvků. Právě z tohoto důvodu by tato metoda mohla být zajímavá i pro amatéry.

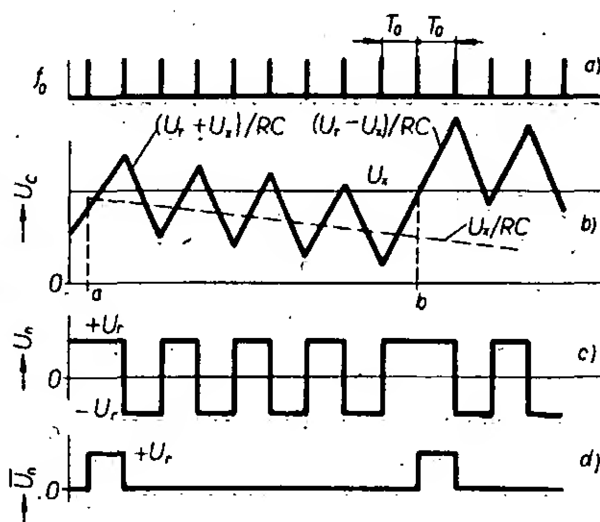
Modulace delta

K popisu použijeme blokové schéma na obr. 22 a grafické průběhy na obr. 23. Měřené vstupní napětí U_x se srovnává s napětím U_C na kondenzátoru *C*, který se nabíjí nebo vybíjí přes odpor *R* ze zdrojů referenčního napětí $+U_r$ nebo $-U_r$, připojovaných k *R* spínači s T_1 a T_2. Spínače jsou ovládány výstupem klopného obvodu D. Jeho stav se mění podle stavu na výstupu komparátoru KZ při příchodu hodinového impulsu (kmitočet hodinových impulsů je f_0). Hodinové impulsy se přivádějí i do vratného čítače, kde se čítají po dobu *T* v závislosti na stavu klopného obvodu, který určuje směr čítání (vpřed–vzad).

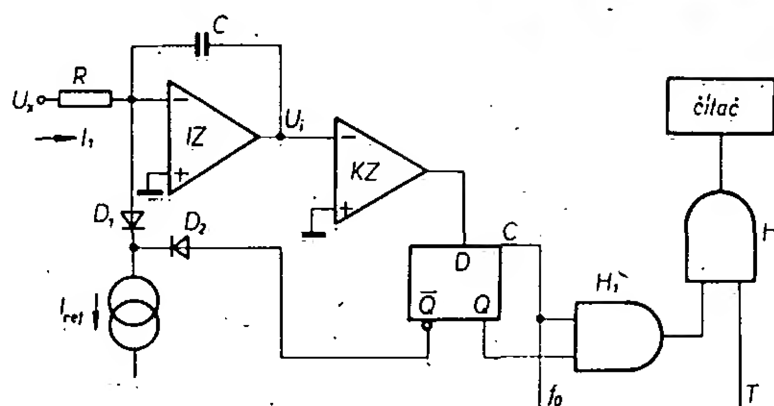
Na obr. 23b je průběh napětí na kondenzátoru *C*. Je-li $U_x > U_C$, je stav klopného obvodu Q = 1. Tranzistor T_1 vede a připojuje přes odpor *R* ke kondenzátoru *C* referenční napětí $+U_r$, takže napětí na *C* se zvětšuje. Bude-li $U_C > U_x$, překlopí se při dalším hodinovém impulsu klopný obvod, takže je připojeno $-U_r$ a *C* se vybíjí. Strmost nabíjení a vybíjení *C* závisí na U_C a tedy i na U_x. Čím větší je U_x, tím strmější je vybíjení *C* a pozvolnější nabíjení. Cyklus nabíjení a vybíjení *C* se pravidelně mění při každém hodinovém impulsu tak dlouho, až U_C nedosáhne úrovně U_x před příchodem dalšího hodinového impulsu a nabíjení *C* trvá po dobu dvou intervalů T_0 mezi hodinovými impulsy. Na obr. 23c je průběh napětí U_n v místě, kde je odpor *R* připojen ke spínačům s T_1 a T_2. Vidíme, že v intervalu mezi okamžiky *a* a *b* je průměrná velikost U_r nulová, neboť intervaly, po které je připojeno $+U_r$ a $-U_r$, jsou stejné. Eliminujeme-li tyto úseky, dostaneme průběh na obr. 23d, který je úměrný U_x, neboť čím je U_x větší, tím je počet impulsů U_n v daném intervalu *T* větší. Počet intervalů T_0, po které je U_n za dobu měřicího intervalu *T* kladné, určuje stav vratného čítače po skončení převodu, neboť čítá vpřed, je-li připojeno $+U_r$, a vzad při připojeném $-U_r$.



Obr. 22. Blokové schéma analogově číslicového převodníku pracujícího na principu modulace delta



Obr. 23. Průběhy v převodníku pracujícím na principu modulace delta



Obr. 20. Integrační metoda s vyrovnáním náboje

Tento princip, poněkud obtížnější k pochopení, vyžaduje minimální počet přesných analogových prvků. Nevýhodou je potřeba vratného čítače a obtíže s měřením napětí obou polarit. Je-li totiž U_x záporné, je po skončení převodu stav vratného čítače doplňkem měřeného údaje.

Uvedený přehled metod analogově číslicového převodu měl za úkol seznámit zájemce o tuto problematiku se všemi dnes běžně používanými principy tak, aby si mohl učinit představu o tom, která metoda bude daným požadavkům nejlépe vyhovovat. Specifikaci číslicového multimetru pro radioamatéry, uvedené v úvodní kapitole, nejlépe vyhovuje integrační metoda s mezipřevodem na časový interval, neboli metoda s dvojí integrací. V závěru této kapitoly porovnáme heslovitě nejdůležitější vlastnosti všech ostatních metod právě s touto metodou, aby mohl čtenář snadněji posoudit, zda je náš výběr nejvhodnější metody analogově číslicového převodu oprávněný.

Kompenzační metoda – velká rychlost i přesnost převodu mnohonásobně převyšuje naše požadavky. Velký počet přesných součástek a malá odolnost proti potlačení rušivých signálů. Obtížná kalibrace. Obtíže při měření kalibračních signálů.

Metoda pilovitého převodu – vyhovující přesnost i rychlost, jednoduché zapojení. Nevýhodou je značná citlivost na rušení, změny kmitočtu oscilátoru a linearitu pilovitého průběhu.

Integrační metoda s mezipřevodem na kmitočet – výhodou je možnost využití i jako měřiče kmitočtu, odolnost proti rušení je stejná jako u integrační metody. Nevýhodou je potřeba dvou čítačů a obtíže při měření signálů obou polarit.

Integračně kompenzační metoda – velmi velká přesnost. Odolnost proti rušení stejná jako u integrační metody. Nevýhodou je značná složitost, přesahující možnosti amatérské stavby.

Metoda s vyrovnáním náboje – vyhovující přesnost i rychlost, velmi jednoduché zapojení. Nevýhodou je citlivost k sériovým rušivým signálům a možnost měřit pouze jednu polaritu vstupního napětí.

Modulace delta – velmi malý počet přesných analogových prvků, jednoduché zapojení. Nevýhodou je potřeba vratného čítače a obtíže s měřením obou polarit.

Popsané principy se vesměs týkaly způsobů převodu stejnosměrného napětí na číslicový údaj. Ostatní elektrické veličiny měřené číslicovými multimetry se zpravidla nejdříve převádějí na stejnosměrné napětí a teprve potom na číslicový údaj. Protože číslicové multimetry obvykle umožňují měřit kromě stejnosměrných napětí také střídavá napětí a odpory, budeme se v další části zabývat způsoby převodu těchto veličin na stejnosměrné napětí.



3. Přehled metod převodu střídavých napětí a odporů na stejnosměrné napětí

Nejdříve se tedy zaměříme na způsoby převodu střídavých napětí na stejnosměrná (velmi je rozšířeno označení převodníky AC-DC – z angl. alternating a direct current). Po úvodním přehledu všech metod se zaměříme na ty, které se používají u jednodušších číslicových multimetrů.

Převodníky střídavých napětí na stejnosměrná napětí

Jak známo, veličinu se střídavým periodickým průběhem lze charakterizovat třemi různými parametry: špičkovou, střední a efektivní hodnotou. Osciloskopem snadno změříme špičkovou hodnotu, důležitou např. tehdy, chceme-li vědět, nezahltí-li neznámý signál zesilovač. V mnoha případech nám však špičková hodnota nedá postačující informace (např. náhodný šum má značně velké špičky, které nevystihují dobře jeho celkovou úroveň). Střední hodnota periodické funkce, definovaná vztahem

$$Y_{stř} = \frac{1}{T}\int_0^T \overline{y(t)}\,dt \qquad (10),$$

kde $y(t)$ je periodická funkce s periodou T, vystihuje charakter periodické funkce lépe. Přesto se všeobecně používá efektivní hodnota, definovaná vztahem

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \overline{y(t)}^2\,dt} \qquad (11).$$

Hlavním důvodem pro zavedení této definice je skutečnost, že střídavý proud vytvoří v odporu stejný tepelný výkon, jaký by v tomto odporu vytvořil stejnosměrný proud s „amplitudou" rovnou právě efektivní hodnotě střídavého proudu. Všechny číslicové multimetry vybavené možností měřit střídavá napětí jsou cejchovány v efektivních hodnotách.

Metody převodu AC/DC se rozdělují na přímé a nepřímé právě podle toho, zda měří efektivní hodnotu přímo, nebo nepřímo pomocí střední nebo špičkové hodnoty, překalibrované potom na efektivní hodnotu.

Přímé metody převodu AC-DC

Přímé metody měření efektivní hodnoty je možno rozdělit na

a) teplotní (termální), a
b) výpočtové.

Teplotní metoda měření efektivní hodnoty využívá toho, že stejnosměrné napětí termoelektrického článku je ekvivalentní efektivnímu napětí střídavého signálu, který článek ohřívá. Touto metodou se dosahuje velké přesnosti, velké necitlivosti na zkreslení měřeného signálu i velké šířky pásma. Používá se proto ve špičkových přístrojích a standardech. Složité obvody nutné ke kompenzaci nedostatků použitých termočlánků velmi prodražují celé zařízení. Kromě toho je nevýhodná i malá rychlost měření a obtíže při měření na nízkých kmitočtech (pod 45 Hz). Proto se zejména v poslední době stále častěji používá výpočtová metoda.

Výpočtová metoda (computing RMS) vychází v principu z matematické definice efektivní hodnoty [vztah (11)], přičemž potřebné matematické úkony se řeší pomocí prvků analogové výpočetní techniky. Zjednodušené blokové schéma je na obr. 24. Blok A představuje přesný dvoucestný usměrňovač, blok B přesný kvadrátor (aproximace kvadratické funkce operačními zesilovači s diodami ve zpětné vazbě). Blok C je tvořen vícepólovými aktivními filtry. Touto metodou lze dosáhnout parametrů téměř srovnatelných s metodou teplotní při menší složitosti a tím i nižších nákladech. Objevuje se proto stále častěji u kvalitních číslicových multimetrů třídy přesnosti 0,01 %. U levných přístrojů však stále převládá metoda nepřímého měření.

Nepřímé metody převodu AC-DC

Nepřímé metody se dělí podle toho, na jakou veličinu se střídavé napětí převádí, dříve než se přepočítá na efektivní hodnotu:

a) metoda špičkové hodnoty (peak),
b) metoda střední hodnoty (average).

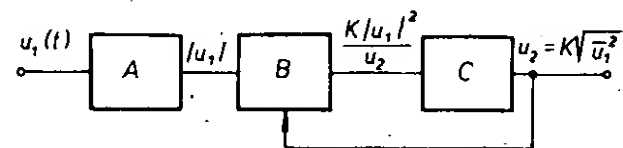
Metoda špičkové hodnoty

Tato metoda patří k nejstarším způsobům převodu AC-DC. Základní zapojení je na obr. 25. Měřeným střídavým napětím U_x se přes diodu D nabíjí kondenzátor C. Stejnosměrné napětí na kondenzátoru se po úpravě přivádí do převodníku A/D, v němž se převede na číslicový údaj. Tento princip převodu má však řadu závažných nedostatků. Ze všech používaných metod převodu AC/DC je nejcitlivější na zkreslení měřeného signálu a na šum. Z těchto důvodů se používá jen u nejlevnějších univerzálních přístrojů s přesností kolem 5 %. Pro použití v číslicovém multimetru třídy přesnosti 0,1 % tedy není tato metoda vhodná.

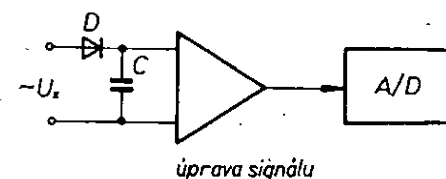
Metoda střední hodnoty

Tato metoda převodu střídavých napětí je charakterizována dobrou stabilitou a citlivostí i vyhovující rychlostí měření při relativně nízkých nákladech. To vedlo k jejímu širokému uplatnění v číslicových multimetrech, takže dnes je nejpoužívanější metodou u nejpočetnější skupiny přístrojů střední třídy přesnosti. Zjednodušené blokové schéma je na obr. 26. Protože střední hodnota symetrického střídavého průběhu je nulová, musí se měřené střídavé napětí U_x přivést nejdříve na přesný jednocestný nebo dvoucestný usměrňovač. Střední hodnota usměrněného napětí se potom získává filtrací pasívním nebo aktivním filtrem (tj. filtrem s operačním zesilovačem). Získanou střední hodnotu je nutno vynásobit činitelem vyplývajícím z matematického vyjádření vztahu mezi střední a efektivní hodnotou nezkresleného sinusového průběhu. Platí

$$U_{stř} = -\frac{U_{šp}}{\pi}\int_0^{\pi} \sin\Theta\, d\Theta = \frac{2U_{šp}}{\pi} \qquad (12).$$



Obr. 24. Výpočtová metoda měření efektivní hodnoty střídavého napětí



Obr. 25. Metoda převodu AC-DC s měřením špičkové hodnoty



Obr. 26. Metoda převodu AC-DC s měřením střední hodnoty

Z tohoto vztahu tedy plyne, že

$$U_{sp} = \frac{\pi}{2} U_{stř} \quad (13).$$

Pro efektivní hodnotu platí podle vztahu (11)

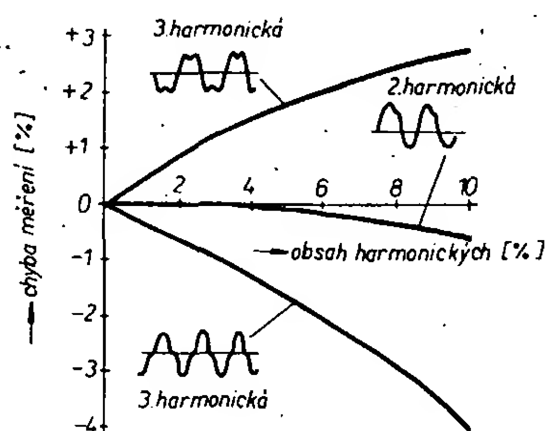
$$U_{ef} = U_{sp} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \Theta \, d\,\Theta} = \frac{U_{sp}}{2} \quad (14).$$

Srovnáním vztahů (13) a (14) dostaneme

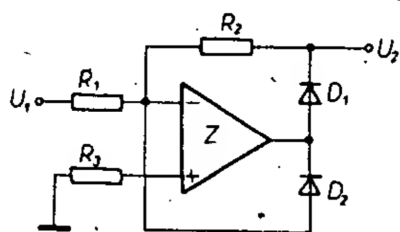
$$U_{ef} = \frac{\pi U_{stř}}{2} = 1{,}11072\ U_{stř} \quad (15).$$

Z výrazu (15) vyplývá, že při měření efektivní hodnoty střídavého napětí je nutno získanou střední hodnotu vynásobit činitelem 1,11. Jak již bylo uvedeno, platí vztah (15) pouze pro nezkreslený sinusový signál. V praxi se však s nezkreslenými sinusovými signály setkáme velmi zřídka. Zkreslení síťového napětí dosahuje až 5 % a např. i generátor *RC* TESLA BM344 má zkreslení až 0,5 %. Přitom zkreslení 3 % zmenší přesnost promilového (0,1 %) převodníku střední hodnoty (cejchovaného v efektivních hodnotách) o řád (1 %). Při měření napětí pravoúhlého průběhu vzniká již chyba 11 %. Velikost zkreslení a tím i chyby měření jsou závislé především na obsahu vyšších harmonických kmitočtů v měřeném signálu. Vliv obsahu druhé a třetí harmonické (v %) v měřeném signálu na přesnost převodníku AC/DC podle metody střední hodnoty je možno vyjádřit i graficky (obr. 27).

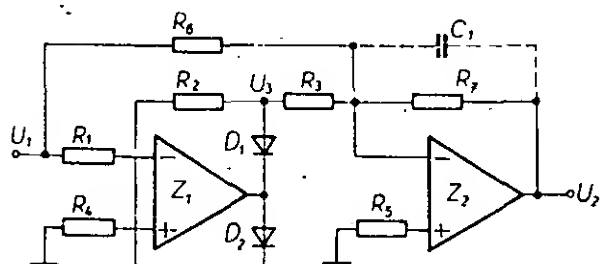
Přes uvedené nedostatky se metoda střední hodnoty velmi rozšířila zejména díky integrovaným operačním zesilovačům. Samotný diodový usměrňovač má totiž závažné nedostky zejména při měření malých napětí (křemíkové diody vedou až při napětí asi 0,6 V). Umístí-li se však dioda do zpětnovazební smyčky operačního zesilovače, vydělí se napětí, při němž začíná vést, ziskem otevřené smyčky zesilovače, a tento nepříznivý jev se prakticky odstraní.



Obr. 27. Vliv vyšších harmonických kmitočtů na přesnost převodníku AC-DC s měřením střední hodnoty



Obr. 28. Zapojení jednocestného usměrňovače s operačním zesilovačem



Obr. 29. Zapojení dvoucestného usměrňovače s operačními zasilovači

Základní zapojení přesného jednocestného usměrňovače s operačním zesilovačem je na obr. 28. Vstupní měřený střídavý signál U_1 se přivádí před odpor R_1 do sčítacího bodu invertujícího zesilovače Z. Má-li vstupní signál U_1 zápornou polaritu, má výstup zesilovače polaritu kladnou, dioda D_1 je otevřena a na zpětnovazebním odporu R_2 se vytvoří úbytek napětí

$$U_2 = -U_1 R_2 / R_1 \quad (16).$$

Má-li vstupní signál kladnou polaritu, bude výstupní napětí zesilovače záporné a dioda D_1 se uzavře. Výstupní napětí $U_2 = 0$. Diodou D_2 se uzavírá záporná zpětná vazba, která zamezuje zmenšení výstupního napětí zesilovače pod −0,7 V a zabraňuje tak zahlcení operačního zesilovače.

Přidá-li se k jednocestnému usměrňovači podle obr. 28 další zesilovač, dostaneme přesný dvoucestný usměrňovač (obr. 29). Zesilovač Z_2 sčítá jednocestně usměrněný signál U_3 z výstupu jednocestného usměrňovače a vstupní měřený signál U_1.

Pro záporné vstupní signály je výstupní napětí U_3 jednocestného usměrňovače nulové (diody D_1 a D_2 jsou zapojeny obráceně vzhledem k obr. 28) a odporem R_3 tedy proud neteče. Výstupní napětí zesilovače Z_2 je potom

$$U_2 = -U_1 R_7 / R_6 \quad (17).$$

Pro kladné vstupní signály se v nulovém bodě zesilovače Z_2 sčítají proudy tekoucí odpory R_3 a R_6, takže výstupní napětí Z_2 je

$$U_2 = -\left(U_3 \frac{R_7}{R_3} + U_1 \frac{R_7}{R_6}\right) \quad (18).$$

Je-li $R_1 = R_2$, platí

$$U_3 = -U_1 \quad (19).$$

Dosadíme-li vztah (19) do rovnice (18), dostaneme

$$U_2 = -U_1 R_7 \left(\frac{1}{R_6} - \frac{1}{R_3}\right) \quad (20).$$

Položíme-li nyní $R_3 = \frac{R_6}{2}$, dostaneme

$$U_2 = U_1 \frac{R_7}{R_6} \quad (21).$$

Srovnáme-li vztahy (17) a (21) vidíme, že jak pro záporné vstupní signály, tak i pro kladné vstupní signály je výstupní napětí dvoucestného usměrňovače vždy kladné. Výstupní napětí je tedy vždy absolutní hodnotou vstupního napětí

$$U_2 = |U_1| \quad \text{pro } R_7 = R_6 \quad (22).$$

Zapojení dvoucestného usměrňovače podle obr. 29 je velmi výhodné také proto, že zapojením kondenzátoru C_1 do zpětné vazby zesilovače Z_2 (tedy paralelně k odporu R_7) získáme na výstupu stejnosměrnou střední hodnotu vstupního signálu (ze zesilovače Z_2 jsme tím vytvořili aktivní filtr). Časová konstanta $C_1 R_7$ musí být pochopitelně mnohem větší, než maximální perioda vstupního signálu.

Vhodnou volbou odporu R_7 můžeme zároveň nastavit zisk celého převodníku tak, aby odpovídal činiteli 1,11 ze vztahu (15), takže na výstupu převodníku dostaneme stejnosměrné napětí, odpovídající efektivní hodnotě střídavého sinusového napětí přiloženého na vstup.

Metodou převodu střídavých napětí na stejnosměrná s měřením střední hodnoty jsme se zabývali hlouběji, neboť svými vlastnostmi i snadností realizace je pro číslicové multimetry třídy přesnosti 0,1 % nejvhodnější. Převodník s jednocestným usměrňovačem podle obr. 28 a s pasívním filtrem ze tří členů *RC* je nejjednodušší řešení. Zapojení podle obr. 29 (s kondenzátorem C_1) je však při nepatrně vyšších nákladech dokonalejší. Nároky na filtraci jsou při dvoucestném usměrnění menší, což je příznivé zejména při převodu střídavých napětí nízkých kmitočtů. Maximální kmitočet měřeného napětí, které je převodník s měřením střední hodnoty schopen s dostatečnou přesností zpracovat, je omezen zejména kmitočtovými vlastnostmi operačních zesilovačů, ale i rychlostí diod a parazitními kapacitami odporů a spojů. Proto musí být věnována zvýšená péče konstrukci obvodu, filtraci napájení apod. Při použití běžných operačních zesilovačů je však maximální kmitočet měřeného napětí 20 kHz. Určitého zlepšení lze dosáhnout tzv. dopřednou kompenzací (feedforward compensation). Princip spočívá v kompenzaci kmitočtové charakteristiky operačního zesilovače pomocí kondenzátoru, zapojeného mezi invertující vstup a vnitřní kompenzační bod.

Převodníky odporů na stejnosměrné napětí

Princip převodu činného odporu na stejnosměrné napětí vyplývá přímo z Ohmova zákona. Vedeme-li měřeným odporem R_x přesně definovaný konstantní proud I_n, je úbytek napětí U_x na odporu přímo úměrný velikosti odporu

$$U_x = I_n R_x = K R_x \quad (23).$$

Hlavním problémem je zajistit, aby proud protékající měřeným odporem R_x byl konstantní bez ohledu na to, že R_x je proměnný. Řešení je v podstatě dvojí

a) použít zdroj konstantního proudu,

b) zapojit měřený odpor do zpětné vazby zesilovače.

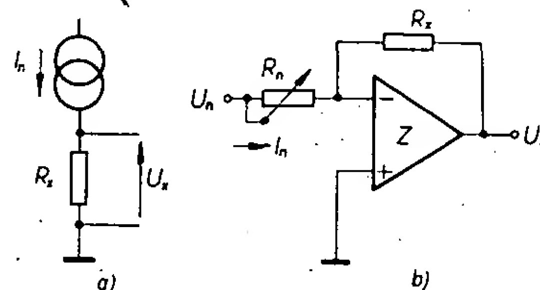
První způsob (obr. 30a) je evidentní, uvědomíme-li si, že ideální zdroj proudu má nekonečný vnitřní odpor, takže velikost proudu I_n nezávisí na velikosti odporu R_x zapojeného v sérii. Odpor R_x se jednoduše určí ze vztahu (23).

Na obr. 30b je princip převodu s měřeným odporem ve zpětné vazbě zesilovače. Konstantní proud je vytvořen pomocí zdroje konstantního napětí U_r a normálového odporu R_n. Zanedbáme-li vstupní proud zesilovače, teče proud I_n měřený odporem R_x a vytvoří na něm (a tím i na výstupu zesilovače) úbytek

$$U_x = -\frac{U_n}{R_n} R_x = -K R_x \quad (24).$$

Změnou odporu R_n je možno snadno měnit rozsah měření.

Možností realizace zdrojů konstantního proudu pro první způsob převodu je celá řada. V další části si několik z nich ukážeme.



Obr. 30. Princip převodu odporu na stejnosměrné napětí: a) pomocí zdroje konstantního proudu, b) umístěním měřeného odporu do zpětné vazby zesilovače

Zdroje konstantního proudu pro měření odporů

Základní zapojení zdroje konstantního proudu s tranzistorem je na obr. 31. K bázi tranzistoru *T* je připojeno konstantní napětí U_n (vytvořené např. Zenerovou diodou *ZD*). Na emitoru tranzistoru bude napětí U_n zmenšené o napětí přechodu báze-emitor. Proud I_n měřeným odporem R_x je tedy určen vztahem

$$I_n = \frac{U_{ZD} - U_{BE}}{R_n} - I_B \qquad (25),$$

kde U_{ZD} je napětí Zenerovy diody a I_B je proud báze tranzistoru. Přesnost a stabilitu konstantního proudu v tomto zapojení ovlivňují především teplotní změny U_{BE} a I_B. Vliv I_B je možno zmenšit volbou tranzistoru s velkým proudovým zesilovacím činitelem. Vliv teplotních změn U_{BE} (přibližně −2 mV/°C) lze omezit kompenzací podle obr. 32. Přechod báze-emitor tranzistoru T_2 je zapojen do série se Zenerovou diodou. Uvažujeme-li polaritu přechodů báze-emitor obou tranzistorů, jsou potom přechody zapojeny „proti sobě" a konstantní proud I_n je určen vztahem

$$I_n = \frac{I_{ZD} - (U_{BE1} - U_{BE2})}{R_n} - I_B \qquad (26).$$

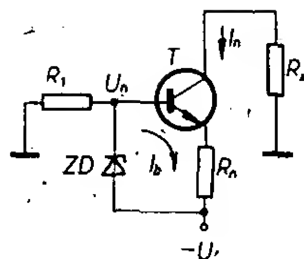
Napětí obou přechodů se tedy vzájemně kompenzují. Chceme-li kompenzovat i teplotní závislost přechodů, musíme zajistit dostatečnou tepelnou vazbu obou tranzistorů. *Nejlepším řešením je použít monolitickou* dvojici tranzistorů (např. připravovaný typ KC810). Náhradním řešením je umístit oba tranzistory v bloku z dobře tepelně vodivého materiálu. Jednodušším způsobem teplotní kompenzace přechodu báze-emitor je vybrat vhodný typ Zenerovy diody a tranzistor tak, aby se jejich teplotní závislosti kompenzovaly. Takovou dvojicí jsou např. KZ140 a KF524. Zhruba se dá říci, že oběma druhy kompenzace lze zlepšit teplotní stabilitu asi desetkrát.

Zajímavou metodou k získání konstantního proudu pro měření odporů je *technika tzv. bootstrap.* Na obr. 33 je zapojení používané v řadě multimetrů (Schlumberger, Dana), které mají neinvertující vstupní zesilovač. Měřený odpor R_x se připojí k neinvertujícímu vstupu vstupního zesilovače Z_1 (tento zesilovač je součástí vlastního převodníku napětí-číslo). Protože Z_1 má díky zpětné vazbě (R_1, R_2) na obou svých vstupech stejné napětí, přivádí se napětí U_x, vzniklé průchodem konstantního proudu odporem R_x, z invertujícího vstupu zesilovače Z_1 na neinvertující vstup zesilovače Z_2. Na invertující vstup Z_2 se přivádí konstantní proud I_n, který na odporu R_3 vytváří úbytek napětí U_n. Na výstupu Z_2 se tedy objeví součet napětí $U_x + U_n$. Přivedeme-li nyní výstupní napětí zesilovače Z_2 na měřený odpor R_x přes normálový odpor R_n, bude na odporu R_x konstantní napětí $U_n = R_3 I_n$ bez ohledu na změnu R_n (změna rozsahů) nebo R_x.

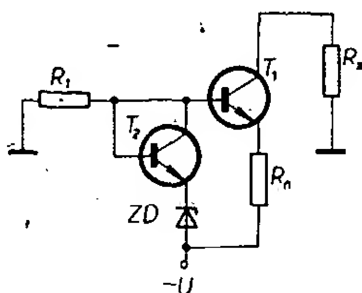
Známá jsou i zapojení zdrojů konstantního proudu s operačním zesilovačem, tato zapojení patří však do druhé skupiny převodníků (s měřeným odporem ve zpětné vazbě zesilovače).

Měřený odpor ve zpětné vazbě operačního zesilovače

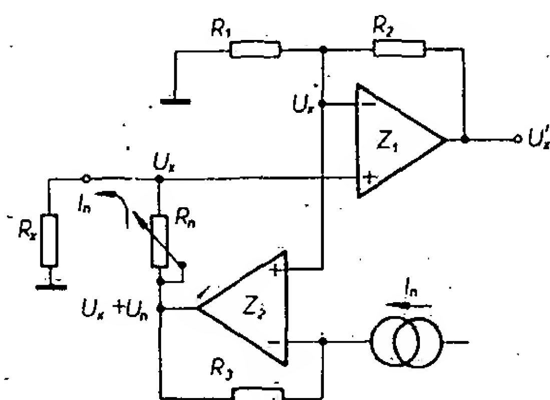
Základní zapojení na obr. 30b je možno modifikovat různými způsoby. Jedním z nich je i zapojení podle obr. 34. Na rozdíl od původního zapojení je zdroj normálového napětí U_n zatěžován konstantním proudem, určeným pevným odporem R_1. Přepínatelný normálový odpor R_n (určující proud I_n, protékající měřeným odporem R_x) je umístěn až na výstupu zesilovače v bodu *A*.



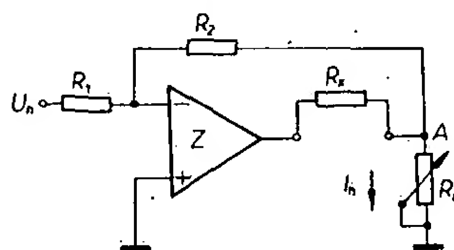
Obr. 31. Základní zapojení zdroje konstantního proudu pro měření odporů



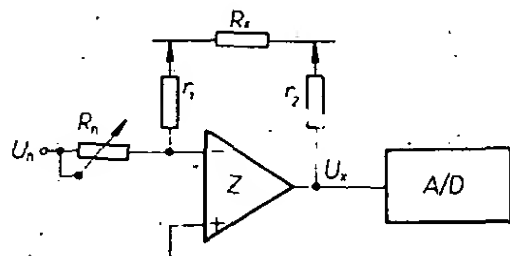
Obr. 32. Zapojení zdroje konstatního proudu s kompenzací teplotních změn



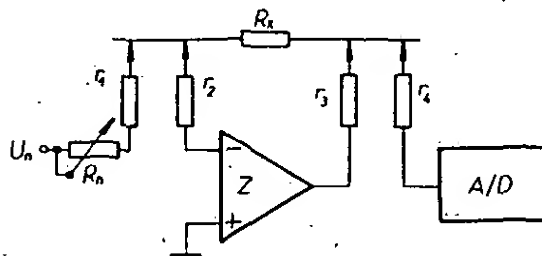
Obr. 33. Vytvoření konstantního proudu metodou bootstrap



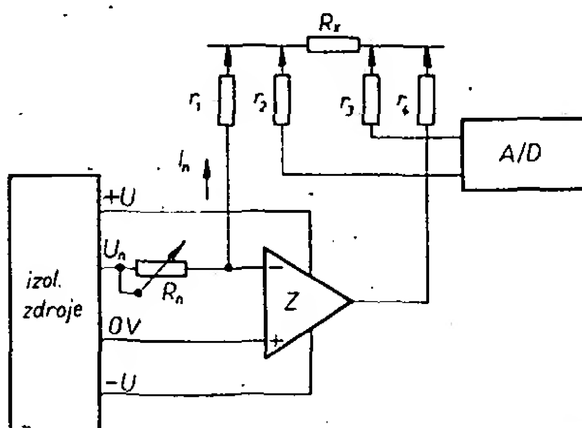
Obr. 34. Modifikované zapojení pro měření odporů



Obr. 35. Dvoudrátová metoda číslicového měření odporů



Obr. 36. Modifikovaná čtyřdrátová metoda číslicového měření odporů



Obr. 37. Čtyřdrátová metoda číslicového měření odporů

Všechna zapojení s měřeným odporem ve zpětné vazbě mají jednu společnou vlastnost, odlišující je od zapojení se zdrojem konstantního proudu: měřený odpor není možno uzemnit. Je ho proto nutno připojit k měřicímu přístroji nejméně dvěma přívody. Mohl-li by odpor přívodů nepříznivě ovlivnit přesnost měření (tedy zejména při měření malých odporů), používají se dokonce čtyři přívody. Podle počtu přívodů k měřenému odporu rozlišujeme tři základní typy metod převodu odporů na napětí:

a) dvoudrátová metoda (two-wire),

b) modifikovaná čtyřdrátová metoda (modified four-wire),

c) čtyřdrátová metoda (true four-wire).

Základní schéma dvoudrátové metody na obr. 35 je prakticky totožné se základním schématem na obr. 30b. Navíc jsou vyznačeny pouze odpory r_1 a r_2 přívodů, které jsou zapojeny v sérii s měřeným odporem R_x. Chyba měření způsobená těmito odpory se vyjadřuje v procentech z plného rozsahu, takže se zmenšováním hodnoty měřeného odporu v daném rozsahu se chyba vztažená k R_x zvětšuje. Např. u číslicového ohmmetru měřicího s přesností ±0,1 % v rozsahu 1 kΩ způsobí odpory přívodů $r_1 + r_2 = 2\ \Omega$ při měření $R_x = 100\ \Omega$ chybu 2 %.

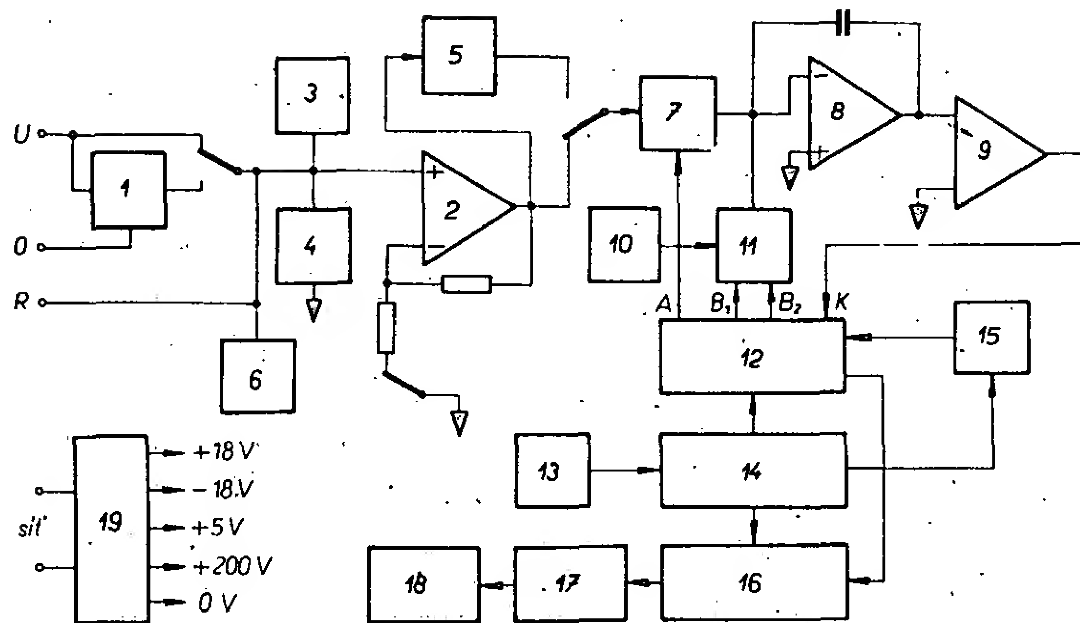
Tento nedostatek téměř úplně řeší zapojení „čtyřdrátové" na obr. 36. Odpor R_x je opět zapojen do zpětné vazby operačního zesilovače pomocí přívodů s odpory r_2 a r_3. Tyto odpory nemají žádný vliv na přesnost převodu, neboť se nalézají uvnitř zpětnovazební smyčky operačního zesilovače. Také odpor r_4 přívodu z měřeného odporu do převodníku A/D se neuplatní vzhledem k očekávanému velkému vstupnímu odporu. Uplatní se pouze odpor r_1 přívodu měřicího proudu I_n. Chyba způsobená tímto odporem se však uplatní jen v procentech z měřeného odporu, takže při zmenšování měřeného odporu R_x se vliv r_1 zmenšuje (při $R_x = 0$ udává převodník skutečně nulovou hodnotu na rozdíl od dvoudrátové metody, při níž se stále přičítá odpor obou přívodů k R_x). Navíc lze vliv r_1 odstranit úplně, ocejchujeme-li přístroj s danými přívodními dráty – pak můžeme r_1 zahrnout do normálového odporu R_n, určujícího rozsah měření.

Vliv odporu přívodu zcela vyloučí čtyřdrátová metoda podle obr. 37. Při této metodě se používá k napájení zesilovače Z „plovoucí" izolovaný zdroj, který vytváří z normálového napětí U_n a normálového odporu R_n zdroj konstantního proudu I_n, nezávislý na odporu přívodu r_1. Toto poměrně složité a nákladné zapojení se používá pouze u špičkových číslicových multimetrů (např. Hewlett Packard HP 3490 A).

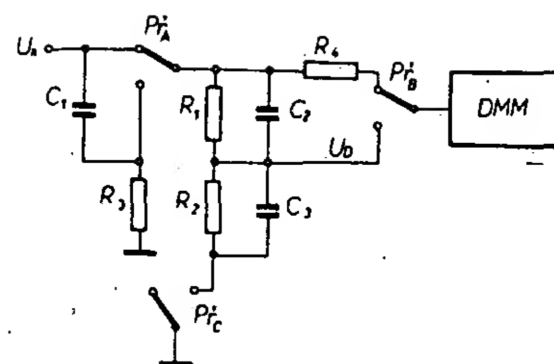
Přes nesporné výhody obou typů čtyřdrátové metody měření odporů se u levných číslicových multimetrů využívá v převážné míře jednodušších zapojení se zdroji konstantního proudu. I z praktického hlediska je tato metoda výhodnější, neboť zapojit čtyři přívodní dráty (vhodně zakončené) tak, aby se mohly jednoduše připojit k měřenému odporu, bývá zpravidla dosti obtížné. Navíc dobře dimenzované přívody mají odpor kolem 0,1 Ω, zatímco citlivost jednoduchých multimetrů je často o řád menší.

Uvedený přehled metod převodu střídavých napětí a odporů na stejnosměrné napětí a také přehled používaných metod analogově číslicového převodu stejnosměrných napětí na číslo nám dává již poměrně konkrétní představu o zapojení zejména analogové

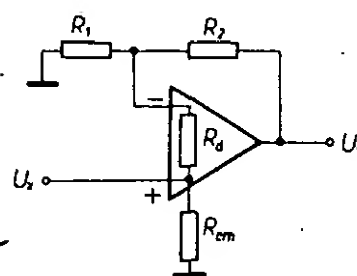




Obr. 38. Celkové blokové schéma zapojení číslicového multimetru



Obr. 39. Zapojení vstupního děliče číslicového multimetru



Obr. 40. Neinvertující zapojení operačního zesilovače k dosažení velkého vstupního odporu

části multimetru. V další části budeme tedy moci sestavit již konkrétní blokové schéma číslicového multimetru pro měření stejnosměrných napětí, střídavých napětí a odporů, pracujícího na principu integrační metody s mezipřevodem na časový interval a zaměřit se na konkrétní návrh jednotlivých obvodů.

4. Návrh obvodů číslicového multimetru

Při návrhu jednotlivých obvodů číslicového multimetru, který by splňoval v úvodu uvedené parametry, budeme vycházet z podrobného blokového schématu na obr. 38. Obvody multimetru jsou rozděleny do devatenácti stavebních bloků, označených číslicemi. Jednotlivé bloky jsou na schématu navzájem propojeny spoji, které ve skutečnosti představují jeden i více vodičů. Směry signálů jsou většinou vyznačeny šipkami. Při návrhu jednotlivých bloků budeme postupovat podle jejich čísel tak, aby bylo zhruba zachováno funkční pořadí bloků od vstupních svorek přístroje až po indikaci číslicového údaje.

Jednotlivé bloky jsou: *1* – vstupní dělič, *2* – vstupní zesilovač, *3* – kompenzace vstupního proudu operačního zesilovače, *4* – ochrana proti přetížení a vstupní filtr, *5* – převodník střídavých napětí na stejnosměrná napětí, *6* – zdroj proudu pro měření odporů, *7* – spínač měřeného napětí, *8* – integrátor, *9* – komparátor, *10* – zdroj referenčního napětí, *11* – přepínač polarity referenčního napětí, *12* – řídicí logika, *13* – oscilátor, *14* – čítač, *15* – ochrana proti přetečení (overflow), *16* – paměť, *17* – dekodér indikace, *18* – indikace, *19* – zdroje.

Z blokového schématu (obr. 38) vyplývá celková koncepce navrhovaného multimetru. Předtím, než se budeme věnovat návrhu jednotlivých stavebních bloků, popíšeme si jejich funkci v zapojení multimetru.

Měřené napětí připojené na svorku *U* se přivádí buď přímo nebo přes vstupní dělič *1* na vstupní zesilovač *2*, vybavený kompenzací vstupního proudu *3*, ochranou proti přetížení a vstupním filtrem *4*. Na vstupní zesilovač se rovněž přivádí napětí, které vznikne průchodem konstatního proudu ze zdroje *6* přes měřený odpor, připojený mezi vstupní svorky *R* a zemnicí svorku 0. Výstup vstupního zesilovače se připojuje spínačem *7* buď přímo nebo přes převodník AC-DC *5* na vstup integrátoru *8*, jehož výstup je připojen na vstup komparačního zesilovače *9*. Na vstup integrátoru se připojuje přepínačem *11* i zdroj referenčního napětí *10*. Řídicí signály A, B_1 a B_2 pro spínač *7* a přepínač *11* se vytvářejí v obvodech řídicí logiky *12*. Čítač *14* je buzen zdrojem hodinových impulsů *13*. Zaplnění čítače se kontroluje obvodem ochrany proti přetečení číslicového údaje *15*.

Stav čítače po skončení převodu se přenáší do paměti *16* a odtud přes dekodér *17* do indikace *18*. Napájecí napětí obvodů multimetru zajišťují zdroje *19*, napájené ze sítě.

Při návrhu jednotlivých funkčních bloků multimetru budeme vycházet z uvedených poznatků. Poměrně podrobně jsme se již zabývali různými možnostmi, jak řešit převážně analogové části multimetru a z nich jsme vybrali ty, které jsou pro naši potřebu nejvhodnější. Ostatní obvody, převážně číslicové, je možno rovněž navrhnout v řadě nejrůznějších variant. Domníváme se však, že by nebylo účelné uvádět různé varianty těchto obvodů. Zaměříme se na jedno konkrétní zapojení podle obr. 38 a při popisu jednotlivých částí jen stručně upozorníme na některá další možná řešení.

1 – vstupní dělič

Obvody zahrnuté do tohoto stavebního bloku mají za úkol:
1. Při měření střídavých napětí zapojit oddělovací kondenzátor, a zmenšit vstupní odpor přístroje.
2. Upravit úroveň vstupních napětí překračujících amplitudu, kterou jsou schopny zpracovat vstupní obvody multimetru.

Oba tyto úkoly řeší zapojení na obr. 39. Vstupní měřené napětí U_x se přivádí na vstupní dělič tvořený odpory R_1 a R_2 přes přepínač *A* buď přímo, nebo přes oddělovací kondenzátor C_1 při měření střídavých napětí. V tomto případě se na vstup připojí i odpor R_3, který zmenšuje velkou vstupní impedanci multimetru, je-li odpojen vstupní dělič (přepínač *C* je rozpojen). Při zapojení vstupního děliče (přepínač *C* je sepnut) je potom vstupní odpor určen paralelní kombinací R_3 a $R_1 + R_2$.

Úroveň vstupního signálu se upravuje vstupním děličem. Je-li vstupní dělič připojen, přivádí se na vstup multimetru (DMM) napětí U_D, které je proti U_x zmenšeno v poměru, určeném odpory R_1 a R_2 podle vztahu

$$U_D = U_x \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (27).$$

Kondenzátory C_2 a C_3 slouží ke kmitočtové kompenzaci vstupního děliče při měření střídavých napětí. K úplné nezávislosti dělicího poměru na kmitočtu měřeného napětí dojde při splnění podmínky:

$$C_2R_1 = C_3R_2 \qquad (28).$$

Při odpojení děliče přichází měřené napětí U_x na vstup DMM přes ochranný odpor R_4. Vstupní odpor přístroje je potom určen vstupním zesilovačem (popř. způsobem jeho zapojení).

2 – vstupní zesilovač

Vstupní odpor a citlivost patří k důležitým parametrům každého číslicového měřicího přístroje. Oba tyto parametry závisí především na vlastnostech a zapojení vstupního zesilovače. Citlivost multimetru je v podstatě určena volbou zesílení vstupního zesilovače při měření na nejnižším rozsahu při daném rozsahu indikace a napětí na výstupu zesilovače. Pro zesílení vstupního zesilovače platí vztah

$$A_Z = \frac{U_v}{R_{dsp}C} \qquad [-; V]$$

kde

U_v je napětí na výstupu vstupního zesilovače,

R_{dsp} rozsah indikace číslicového údaje multimetru,

C maximální citlivost na nejnižším rozsahu. Například pro $U_v = 10$ V, $R_{dsp} = 1000$ a $C = 1$ mV $= 10^{-3}$ V je

$$A_Z = \frac{10}{1000 \cdot 10^{-3}} = 10.$$

Ze vztahu (29) je patrné, že nároky na zesílení vstupního zesilovače u běžných multimetrů nejsou nijak zvlášť velké a pohybují se většinou v rozmezí $A_Z = 10$ až 100, takže z hlediska zesílení vyhoví v podstatě jakýkoli operační zesilovač.

Větší nároky jsou kladeny na vstupní zesilovač z hlediska dosažení velkého vstupního odporu a minimálního vstupního proudu. Velmi dobrých výsledků lze dosáhnout s operačními zesilovači vybavenými na vstupu tranzistory řízenými polem. V současné době není na našem trhu takový zesilovač běžný. Hybridní zesilovače z TESLA Lanškroun (WSH218 až 220) nejsou zatím amatérské veřejnosti dostupné. Je proto třeba spokojit se s běžnými monolitickými operačními zesilovači a snažit se dosáhnout požadovaných parametrů vhodným zapojením – tím je neinvertující zapojení operačního zesilovače podle obr. 40. Měřené napětí U_x se přivádí na neinvertující (+) vstup. Působením zpětné vazby přes odporový dělič R_1 a R_2 se napětí U_x objeví i na neinvertujícím (−) vstupu za předpokladu, že zesilovač je ideální, tzn., že má nekonečné zesílení, nulový napěťový ofset a nulový vstupní proud. Napětí na výstupu zesilovače je potom

$$U_v = U_x \frac{R_1 + R_2}{R_1}. \qquad (30).$$

Vstupní odpor zesilovače v neinvertujícím zapojení je definován vztahem

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{cm}} + \frac{1}{R_d(1 + \beta A)} \qquad (31)$$

kde β je zpětnovazební činitel,
A zesílení zesilovače,
R_{cm} souhlasný odpor zesilovače,
R_d diferenční odpor zesilovače.

Pro typické údaje běžného zesilovače (R_{cm} = 400 MΩ, R_d = 500 kΩ, A = 50 000) a požadované zesílení A = 10 je vstupní odpor R_i = R_{cm} = 400 MΩ.

U reálného operačního zesilovače se nepříznivě uplatňuje napěťový ofset (tj. napětí, které musí být připojeno mezi vstupy zesilovače, aby výstupní napětí bylo nulové) a vstupní klidový proud. Protože tyto rušivé vlivy lze kompenzovat, uplatní se pouze jejich teplotní drift, který u monolitických operačních zesilovačů dosahuje běžně 10 μV/°C, popř. 1 nA/°C (zde se jedná o teplotní drift proudového ofsetu, tj. rozdílu klidových proudů obou vstupu zesilovače). Zatímco napěťový ofset lze velmi snadno kompenzovat (např. potenciometrem P_1 na obr. 41), činí kompenzace vstupního proudu určité potíže.

3 – kompenzace vstupního proudu operačního zesilovače

Vstupní klidový proud běžných monolitických diferenčních operačních zesilovačů bývá 50 až 500 nA. Tento proud vytváří na odporech připojených ke vstupům nežádoucí úbytky napětí, které se přičítají k měřenému napětí a způsobují chybu měření. Tato chyba se dá kompenzovat volbou stejných odporů v obou vstupech, neboť i klidový proud obou vstupů je přibližně stejný. Závažnější je však to, že vstupní klidový proud neinvertujícího vstupu odebírá ze zdroje měřeného signálu (při neinvertujícím zapojení podle obr. 40) a vytváří nežádoucí úbytek na jeho vnitřním odporu, který je proměnný a nedá se tedy uvedeným způsobem kompenzovat. Jediným řešením je dodat potřebný vstupní klidový proud do neinvertujícího vstupu z pomocného zdroje. Nejjednodušší je připojit napěťový zdroj přes velký odpor. Toto řešení je však pro náš účel nevhodné, neboť

a) při vstupních proudech kolem 100 nA by byl odpor příliš velký (asi 50 MΩ);

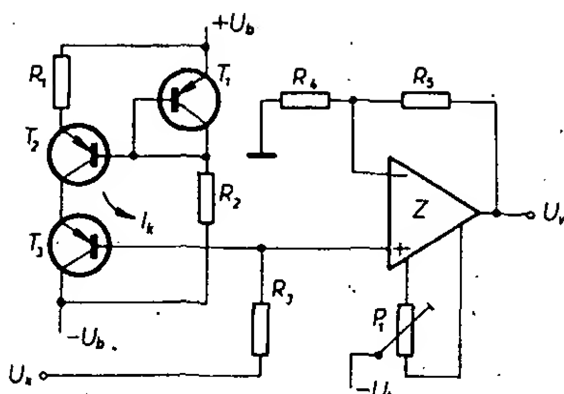
b) při velkém rozkmitu napětí na vstupu zesilovače se kompenzační proud mění se změnou měřeného napětí;

c) kompenzační odpor zmenšuje velký vstupní odpor neinvertujícího zapojení operačního zesilovače.

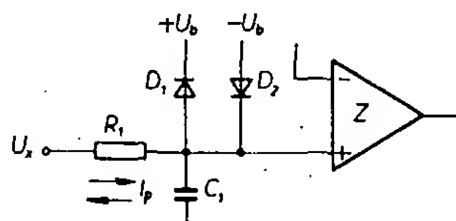
Uvedené nedostatky téměř úplně řeší způsob kompenzace vstupního proudu podle obr. 41. Kompenzace spočívá v tom, že se z tranzistorů T_1 a T_2 vytvoří zdroj konstantního proudu, pracující na stejném principu jako zdroj na obr. 32 pouze s tím rozdílem, že k získání velmi malých proudů se na odporu R_1 vytváří úbytek napětí rovnající se pouze rozdílu napětí báze-emitor obou tranzistorů T_1 a T_2. Přitom U_{BE} tranzistoru T_1 je vždy větší než U_{BE} tranzistoru T_2, neboť tranzistorem T_1 protéká větší proud, daný odporem R_2. Takto vytvořený proud se dále zmenšuje v tranzistoru T_3. Do neinvertujícího vstupu zesilovače Z teče totiž pouze proud báze T_3, který je proti kolektorovému konstantnímu proudu zmenšen v poměru proudového zesilovacího činitele tranzistoru T_3. Změnou odporu R_1 lze nastavit proud I_C tak, aby vykompenzoval vstupní klidový proud neinvertujícího vstupu zesilovače. Pokud tranzistory proudového zdroje mají stejné nebo podobné teplotní charakteristiky jako vstupní tranzistory operačního zesilovače, budou se částečně kompenzovat i teplotní změny vstupního klidového proudu. Jelikož klidový proud neinvertujícího vstupu není kompenzován, musí být zpětnovazební odpory R_4, R_5 dostatečně malé.

4 – ochrana proti přetížení a vstupní filtr

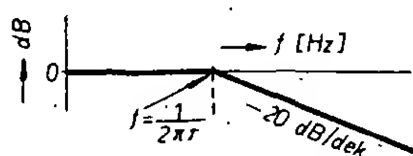
Při používání číslicového multimetru může vstupní napětí značně překročit horní mez



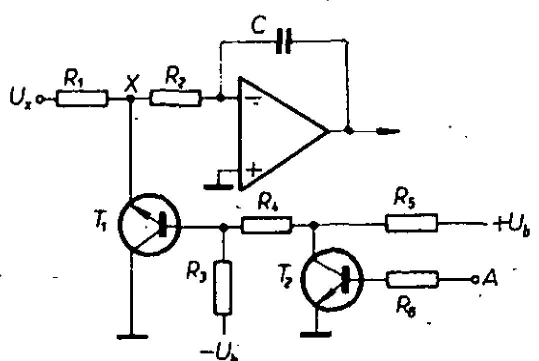
Obr. 41. Kompenzace napěťového ofsetu a vstupního klidového proudu neinvertujícího vstupu operačního zesilovače



Obr. 42. Ochrana proti přetížení a vstupní filtr



Obr. 43. Kmitočtová charakteristika vstupního filtru RC



Obr. 44. Zapojení spínače měřeného napětí

zvoleného napěťového rozsahu. Je žádoucí, aby multimetr snesl bez poškození přetížení nejnižšího rozsahu napětím stovek voltů. Bezprostředně po odstranění „přepětí" musí přitom opět správně měřit. Takovou ochranu lze jednoduše realizovat ochranným odporem R_1 a ochrannými diodami D_1, D_2, zapojenými podle obr. 42 na vstup zesilovače.

Ochranný odpor musí být dimenzován tak, aby při maximálním přetížení propustil pouze takový proud I_p, který snesou ochranné diody D_1 a D_2. Ty potom omezí maximální napětí na vstupu zesilovače na velikost napájecího napětí U_b, zvětšenou o napětí přechodu diody v propustném směru. Napětí U_b musí být přitom větší než jmenovité měřené napětí U_x a menší než povolené vstupní napětí zesilovače. Diody musí mít malé závěrné proudy, neboť ty se projevují jako rušivý vstupní proud. Kvalitní křemíkové diody mají při pokojové teplotě závěrné proudy kolem 10 nA. S výhodou lze použít kolektorové přechody křemíkových tranzistorů se závěrnými proudy kolem 1 nA. Zenerovy diody mají zpravidla závěrné proudy řádově větší a nejsou proto pro toto použití příliš vhodné.

Ochranný odpor R_1 s kondenzátorem C_1 tvoří vstupní filtr (dolní propust), napomáhající potlačovat střídavá rušivá napětí. Přibližná závislost útlumu článku na kmitočtu je na obr. 43. Časovou konstantu $\tau = R_1C_1$, určující bod zlomu, od něhož začne docházet k útlumu, je nutno volit co největší, aby filtr potlačoval rušivé signály na nízkých kmitočtech. Horní mez časové konstanty je dána pouze dobou potřebnou k ustálení při změně měřené veličiny. Přitom si musíme uvědomit, že k ustálení dojde až po nabití kondenzátoru C_1 na napětí rovné měřenému napětí. Nabíjení kondenzátoru má exponenciální průběh a napětí na něm se přibližuje s přesností 0,1 % ke konečné velikosti zhruba po době 7τ.

5 – převodník střídavých napětí na stejnosměrná napětí

Díky tomu, že převodník AC-DC je umístěn až za vstupním zesilovačem, zpracovává již upravené signály o normalizované jmenovité amplitudě, např. 10 V. To usnadňuje řešení převodníku AC-DC, avšak na druhé straně klade zvýšené nároky na vstupní obvody a zejména na vstupní zesilovač, který musí zpracovávat stejnosměrné i střídavé signály.

Pro zapojení převodníku AC-DC může být použito zapojení přesného dvoucestného usměrňovače s aktivním filtrem podle obr. 29 s kondenzátorem C_1. Toto zapojení bylo již dostatečně podrobně popsáno, takže se jím nemusíme dále zabývat.

6 – zdroj konstantního proudu pro měření odporů

Také zapojení tohoto funkčního bloku číslicového multimetru bylo již uvedeno (obr. 31). Bylo zvoleno pro svoji mimořádnou jednoduchost. S již popsanou kompenzací (volba vhodné Zenerovy diody a tranzistoru) se dosahuje uspokojivé přesnosti i stability měření zejména na nižších rozsazích. Při měření odporů kolem 1 MΩ již dochází k větším chybám, neboť velikost konstantního proudu nemůže být zpravidla větší než 10 μA (tento proud vytvoří na odporu 1 MΩ úbytek 10 V), takže se již mohou uplatnit vlivy vstupního proudu zesilovače, svody, teplotní změny proudu báze tranzistoru apod.

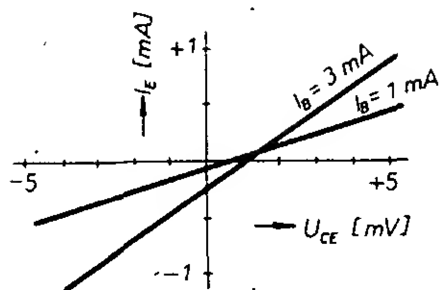
Zapojení podle obr. 31 je nutno ještě doplnit vhodnou ochranou (která chrání obvod při náhodném připojení velkého napětí na svorku pro měření odporů). Někteří výrobci číslicových multimetrů používají např. tavnou pojistku a diodové omezovače, neboť velmi často je svorka pro měření odporů společná se svorkou pro měření napětí. V našem případě je svorka pro měření odporů oddělena, takže nebezpečí omylu je značně menší. Postačí proto zapojit do kolektoru tranzistoru proudového zdroje ochranný odpor tak, aby neovlivňoval činnost zdroje a zároveň zmenšil proud při přetížení tak, aby se tranzistor zdroje nezničil.

7 – spínač měřeného napětí

Napětí z výstupu vstupního zesilovače nebo z výstupu převodníku AC-DC se přivádí na vstup integrátoru *8* přes spínač *7* (obr. 38). Nutnost spínat měřené napětí vyplývá z popisu integrační metody (obr. 18).

Protože se vstupní napětí mění zpravidla v rozsahu ±10 V, musí být spínač navržen tak, aby tyto změny neovlivňovaly přesnost sepnutí a rozepnutí spínače. Nejčastěji se tyto spínače řeší pomocí tranzistorů řízených polem. Nejvhodnější jsou tranzistory typu J-FET, které mají v sepnutém stavu velmi malý odpor (při poměrně malých ovládacích napětích). Tento typ tranzistorů se však v ČSSR nevyrábí a zbývají proto pouze tranzistory typu MOSFET. Ty však potřebují větší ovládací napětí, mají větší odpor a snadno se zničí elektrostatickým nábojem při neopatrném zacházení. Proto jsme se snažili navrhnout spínač s bipolárními tranzistory (obr. 44).

Pro zmenšení rozkmitu vstupního napětí U_x se integrační odpor na vstupu integrátoru rozdělí na odpory R_1 a R_2 tak, aby spínané napětí v bodě X nebylo větší než několik voltů. Spínací tranzistor T_1 je pro zmenšení úbytku U_{CE} v sepnutém stavu zapojen inverzně, to znamená, že emitor a kolektor se



Obr. 45. Spínací charakteristika tranzistoru (KC509) v inverzním zapojení

vzájemně vymění. Proud báze teče potom přes kolektor na zem a úbytek U_{CE} je podle grafu na obr. 45 jen několik mV (při I_E menším než 1 mA). Vede-li tranzistor T_1, protéká proud z U_x přes R_1 a tranzistor na zem a na vstup integrátoru teče jen zanedbatelný proud, určený úbytkem U_{CE} a odporem R_2. Při rozpojení T_1 teče proud z U_x přes R_1 a R_2 na vstup integrátoru. Činnost tranzistoru T_1 se ovládá logickým signálem A, který otevírá nebo zavírá tranzistor T_2. Odporový dělič R_3, R_4 a R_5 je navržen tak, že při sepnutí T_2 se T_1 uzavře záporným předpětím $-U_b$ a při rozpojení T_2 se T_1 otevře proudem tekoucím z $+U_b$ přes R_4 a R_5 do báze tranzistoru T_1.

8 – integrátor

Integrátor patří k nejdůležitějších funkčním blokům navrhovaného multimetru. K integraci měřeného a referečního napětí se zpravidla používá integrační zapojení operačního zesilovače s kondenzátorem ve zpětné vazbě. Kromě toho lze napětí integrovat i nabíjením kondenzátoru proudem úměrným měřenému napětí (získaným pomocí převodníku napětí-proud) a vybíjením kondenzátoru referenčním zdrojem konstantního proudu.

Pro náš multimetr bylo zvoleno klasické řešení s integrátorem podle obr. 44. Již při popisu metody analogově číslicového převodu s dvojitou integrací bylo vysvětleno, že časové nebo teplotní změny pasívních prvků R a C nemají vliv na přesnost přenosu (viz obr. 17). Jinak je tomu s vlivem rušivého napětí U_{os} a vstupního rušivého proudu I_{os} vlastního operačního zesilovače integrátoru. Označíme-li vstupní odpor integrátoru $R = R_1 + R_2$ a zpětnovazební kondenzátor C, potom lze napěťovou chybu na výstupu integrátoru způsobenou těmito rušivými vlivy vyjádřit vztahem

$$\Delta U_o = \frac{T}{C}\,\frac{U_{os}}{R} + I_{os} \qquad (32),$$

kde T je doba integrace. Je-li vstupní odpor R přibližně stejný jako tzv. kritický (šumový) odpor

$$R \doteq R_r = \frac{U_{os}}{I_{os}} \qquad (33),$$

potom můžeme předpokládat, že U_{os} i I_{os} se na vzniku chybového napětí uplatňují stejným dílem. Dosazením vztahu (33) do výrazu (32) dostaneme

$$I_{os} = \frac{T}{C}\,\frac{\Delta U_o}{2} \qquad (34).$$

Rušivé proudy I_{os} a U_{os}/R se sčítají a způsobují změnu sklonu napětí na výstupu integrátoru. Protože tyto proudy tečou po celou dobu převodu stále stejným směrem, chyba způsobená změnou sklonu U_x se při integraci U_r nevykompenzuje, ale dále narůstá (obr. 46).

Pomocí vztahu (34) můžeme určit velikost rušivého proudu a ze vztahu (33) i velikost U_{os}, známe-li dobu integrace T_1, kapacitu zpětnovazebního kondenzátoru C a velikost napětí na výstupu integrátoru, odpovídající nejnižšímu číselnému údaji multimetru (ΔU_o). Kondenzátor C volíme tak, aby platil vztah

$$T_1 = RC \qquad (35),$$

kde T_1 je doba integrace měřeného napětí.

9 – komparátor

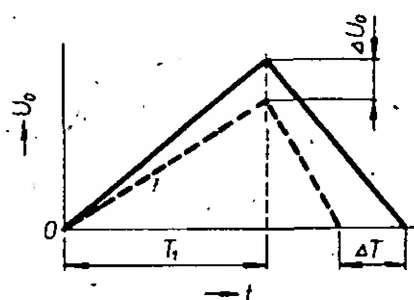
Komparační zesilovač slouží k určení okamžiku, kdy překročí napětí pilovitého průběhu na výstupu integrátoru nulovou úroveň. Pro tento účel jsou nejvhodnější rychlé monolitické komparační zesilovače typu μA710 (vyrábějí se i v NDR pod označením A110). U číslicových multimetrů, u nichž nejsou kladeny velké nároky na rychlost převodu, vyhoví i běžný operační zesilovač zapojený podle obr. 47.

Napětí z výstupu integrátoru U_o se přivádí přes odpor R_1 na jeden ze vstupů komparačního zesilovače KZ. Druhý vstup je přes odpor $R_2 = R_1$ připojen na zem. Diody D_1 a D_2 slouží k omezení rozkmitu na vstupu komparátoru. Vlastní komparační zesilovač je kmitočtově korigován jen malými kondenzátory C_1 a C_2, zapojenými do vnitřních korekčních bodů zesilovače. Velikost korekce závisí na požadované rychlosti „přeběhu" na výstupu komparátoru a ta zase na kmitočtu oscilátoru na vstupu čítače. Jakmile napětí U_o dosáhne nulové úrovně, musí komparátor změnit stav svého výstupu v době kratší než je perioda kmitočtu oscilátoru, tedy v době kratší, než je doba, za níž se změní stav čítače, připojeného k oscilátoru. Požadovaná citlivost zase závisí na velikosti napětí na výstupu integrátoru U_o a maximálním rozsahu indikace N multimetru podle vztahu

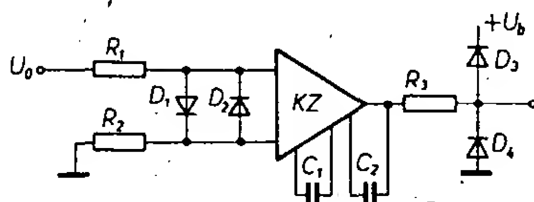
$$C = \frac{U_{o\,max}}{2N} \quad [\text{mV; V, –}] \qquad (36).$$

S citlivostí komparátoru také souvisí určení maximálně-přípustného vstupního rušivého napětí a proudu. Jejich vliv by měl být s dostatečnou rezervou menší než je požadovaná citlivost komparátoru. Tam, kde není možno tuto podmínku splnit, je vhodné použít zapojení ke kompenzaci driftu komparátoru podle obr. 48.

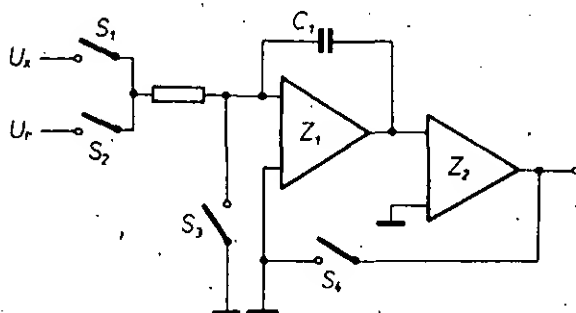
Zjednodušené schéma na obr. 48 znázorňuje obvod, který koriguje drift integrátoru i komparátoru současně. Po skončení převodu se současně sepnou spínače S_3 a S_4 a drift obou zesilovačů Z_1 a Z_2 se „uloží" v kondenzátoru C_2. Toto napětí dělené ziskem komparátoru Z_2 se tedy objeví na výstupu integrátoru. Na začátku převodu se spínače S_3 a S_4 rozpojí a na vstup integrátoru Z_1 se postupně připojuje pomocí spínačů S_1 a S_2 měřené a referenční napětí. Spínače jsou realizovány tranzistory řízenými polem.



Obr. 46. Vliv rušivých signálů U_{os} a I_{os} na průběh integrace



Obr. 47. Zapojení komparačního zesilovače



Obr. 48. Zapojení pro korekci driftu integračního a komparačního zesilovače

10 – zdroj referenčního napětí

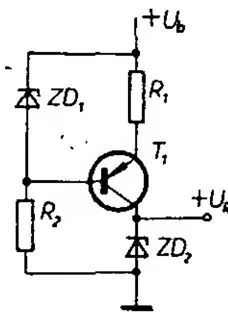
Ze vztahu (9) odvozeného při popisu metody s dvojí integrací vyplývá, že stabilita referenčního napětí má přímý vliv na přesnost převodu. Zdroj referenčního napětí musí dávat teplotně i dlouhodobě stabilní napětí. Již řadu let se pro tyto účely využívá vlastností teplotně stabilních nebo teplotně kompenzovaných Zenerových diod. Výběr vhodné Zenerovy diody závisí na přesnosti přístroje, pro který je určena, a na rozsahu teplot, v němž bude přístroj provozován. Navrhovaný multimetr by měl mít podle tabulky předběžných parametrů, uvedené v závěru úvodní kapitoly, teplotní koeficient TK = 100 ppM/°C (10^{-4}/°C). Tento údaj bude kritériem i pro výběr diody, přičemž bude vhodné dosáhnout určité rezervy teplotní stability, neboť celkový teplotní koeficient ovlivňuje i jiné prvky zapojení multimetru. Běžné Zenerovy diody mají TK kolem 500 ppm (KZZ71), a proto nejsou vhodné. Teplotně kompenzované Zenerovy diody typu KZZ82 nebo TKZD25 (Metra Blansko) mají velmi dobrý TK, jsou však velmi drahé nebo nedostupné. Pro náš účel se jeví jako nejvhodnější teplotně kompenzovaná dioda KZZ46, jejíž TK = 50 ppm/°C je zcela vyhovující. Samotná teplotní stabilita Zenerova napětí však k udržení stabilního referenčního napětí nestačí. Při změnách protékajícího proudu dochází totiž ke změnám úbytku napětí na dynamickém odporu diody r_{KA} a tím i ke změnám napětí na diodě. Např. r_{KA} = 30 Ω dojde při změně proudu o 300 μA ke změně napětí na diodě o 10 mV. Je proto výhodné napájet Zenerovu diodu zdrojem konstantního proudu podle obr. 49.

Zapojení proudového zdroje je opět stejné jako zapojení na obr. 31 (polarita je opačná a používá se tranzistor p-n-p). Na odporu R_1 se udržuje konstantní úbytek napětí, určený napětím běžné Zenerovy diody ZD_1 a U_{BE} tranzistoru T_1. Konstantní proud odporem R_1 protéká i teplotně kompenzovanou Zenerovou diodou ZD_2. Teplotní kompenzace těchto diod je zpravidla nastavena pouze pro poměrně úzký rozsah proudů. Je proto třeba doporučený proud dodržet.

Číslicové multimetry pro měření napětí obou polarit je třeba vybavit dvěma zdroji referenčního napětí. Velmi často se využívá dvou Zenerových diod, jejichž napětí se připojuje na vstup integrátoru dvěma přesnými spínači. Druhou možností, která je použita i v našem multimetru, je použít jedinou Zenerovu diodu a přepínač polarity referenčního napětí.

11 – přepínač polarity referenčního napětí

Při použití jediného zdroje referenčního napětí je možno měřit napětí obou polarit přepínáním napájení diody podle obr. 50. Při



Obr. 49. Zdroj referenčního napětí se Zenerovou diodou napájenou ze zdroje konstantního proudu

sepnutí spínačů S_1, S_3 a S_5 se na výstupní svorce objeví kladné referenční napětí, při sepnutí spínačů S_2, S_4 a S_6 je na výstupu záporné referenční napětí. Spínače lze realizovat relé nebo tranzistory.

Výhodnější je zapojení podle obr. 51 s operačním zesilovačem k invertování napětí referenčního zdroje. Funkci přepínače lze nejsnáze popsat tabulkou na obr 52, v níž B_1 a B_2 jsou řídicí signály z obvodů TTL (log. 1>+2,4 V, log. 0<+0,4 V) a REF je výstupní napětí přepínače. Princip činnosti přepínače spočívá ve změně režimu operačního zesilovače z neinvertujícího zapojení do invertujícího a naopak. Probereme si postupně jednotlivé kombinace řídicích signálů B_1 a B_2:

1. $B_1 = 0, B_2 = 1$.

V tomto režimu vede spínací tranzistor T_2. Neinvertující vstup zesilovače je tedy prakticky připojen na zem přes paralelní kombinaci odporů R_4 a R_5. Tranzistor T_1 nevede, takže referenční napětí je přes odpory R_2 a R_3 připojeno na invertující vstup zesilovače. Je-li $R_1 = R_2 + R_3$, objeví se na výstupu zesilovače záporné referenční napětí.

2. $B_1 = 1, B_2 = 0$.

Tranzistor T_1 vede, takže invertující vstup zesilovače je uzemněn přes R_2. Kladné referenční napětí se přivádí na neinvertující vstup zmenšené děličem R_4 a $R_5 + R_6$. Účinkem záporné zpětné vazby se totéž napětí objeví i na invertujícím vstupu. Zvolíme-li dělič R_1 a R_2 stejný jako dělič v neinvertujícím vstupu, dostaneme na výstupu referenční napětí ve stejné amplitudě i polaritě jako na vstupu.

3. $B_1 = 1, B_2 = 1$.

Oba tranzistory vedou, takže oba vstupy zesilovače jsou uzemněny a na výstupu je nulové napětí.

Hlavním zdrojem chyb tohoto spínače jsou úbytky U_{CE} při vodivém stavu obou tranzistorů a napěťový ofset zesilovače. Protože absolutní velikost referenčního napětí není důležitá (proud do integrátoru lze nastavit odporem R_7), musíme zajistit pouze souběh referenčního napětí obou polarit. To lze snadno zajistit např. zapojením potenciometru mezi odpory R_3 a R_6 a připojením kladného referenčního napětí na běžec potenciometru. Po nastavení se uplatní pouze drift chybových signálů, který je však v zadaném rozmezí pracovních teplot pod úrovní citlivosti přístroje.

12 – řídicí logika

Logické číslicové obvody ve funkčním bloku *12* musí splnit následující funkce:

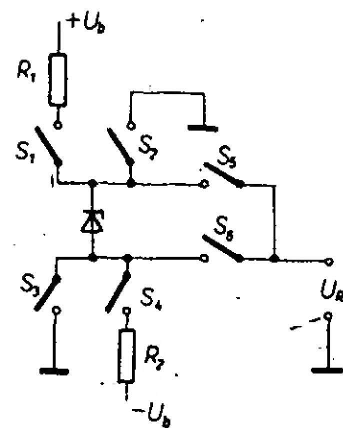
a) na základě výstupního signálu čítače (C) vytvořit signál A, který řídí připojování měřeného napětí U_x na vstup integrátoru;

b) vytvořit řídicí signál pro převedení stavu čítače do paměti (M);

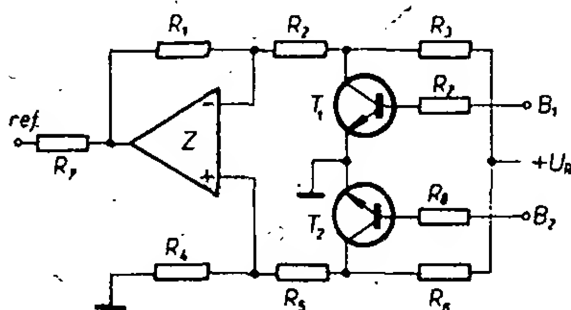
c) pomocí signálů A a K (výstup komparátoru) vytvořit signály B_1 a B_2 pro ovládání přepínače referenčního napětí (blok *11*). Průběhy uvedených signálů jsou na obr. 53. Dále uvedeme postupně obvodové řešení zadaných úkolů.

a) Celá koncepce řídicí části vychází z toho, že čítač stále pracuje. Na jeho výstupu jsou tedy stále signály průběhu C (obr. 53f). Získat průběhy A z průběhů C je snadné (klopným obvodem typu D, zapojeným jako dělič kmitočtu – klopný obvod KO1 na obr. 54).

b) Signál pro převedení do paměti M (průběh *e* na obr. 53) je možno odvodit z výstupu komparátoru (průběh *d* na obr. 53). Jelikož napětí na výstupu integrátoru může mít obě polarity, je hrana signálu na výstupu komparátoru na konci intervalu T_2 kladná nebo záporná. Je tedy třeba jednak signál K invertovat ($\overline{K}$), a jednak oba signály logicky sečíst. Navíc je k oběma signálům K a $\overline{K}$ třeba



Obr. 50. Přepínač polarity referenčního napětí Zenerovy diody



Obr. 51. Přepínač referenčního napětí s operačním zesilovačem

B_1	B_2	ref.
0	1	$-U_R$
1	0	$+U_R$
1	1	0 V

Obr. 52. Tabulka závislosti výstupního referenčního napětí na vstupních řídicích signálech

logicky přičíst i výstupní signál přetečení rozsahů E (o způsobu vytvoření tohoto signálu se dozvíme při popisu bloku *15*). Logický součet lze realizovat i běžnými hradly typu NAND (negovaný logický součin) tak, že místo pozitivní logiky (log. 1>+2,4 V) použijeme negativní logiku (log. 1<+0,4 V). Signály sečteme tedy pomocí hradla H_1 (obr. 54), na jehož vstupech odpory R_1 až R_6 zajistíme stálé klidové napětí o úrovni log. 1. Signály, které máme sečíst, přivedeme na vstupy H_1 přes kondenzátory C_1 až C_3. Výstup hradla H_1 je možno použít po výkonové úpravě k řízení paměti (signál M).

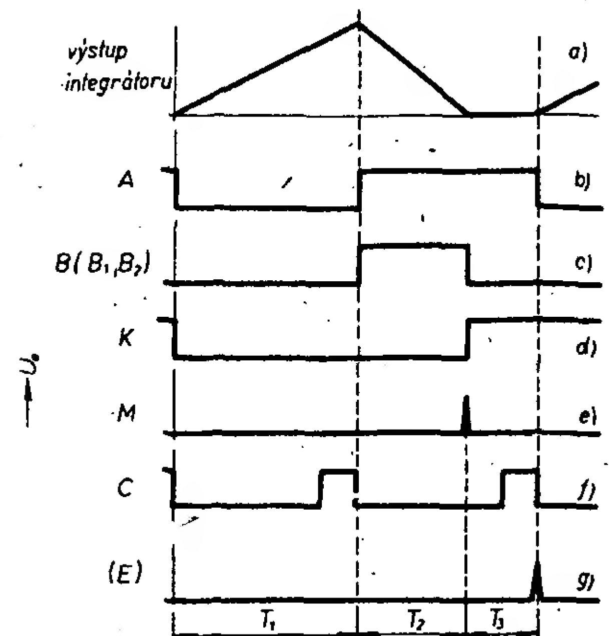
c) K vytvoření signálů B_1 a B_2 potřebujeme signál B (průběh *c* na obr. 53) a informace o polaritě měřeného napětí U_x. Signál B vytvoříme klopným obvodem typu R-S, sestaveným z hradel H_1 a H_2 (obr. 55). Oba vstupy klopného obvodu (R, S) musí mít klidovou úroveň log. 1, kterou u vstupu R zajistíme invertorem I_2 a u vstupu S odporovým děličem R_1, R_2. Výstup B se uvede do stavu log. 1 signálem A, přivedeným na vstup S přes kondenzátor C_1. Po skončení převodu bude uveden výstup B klopného obvodu do stavu log. 0 signálem M, přivedeným na vstup S přes hradlo I_2. Informaci o polaritě U_x udává stav komparátoru (signál K) na konci intervalu T_1. V tomto okamžiku přijde na vstup C klopného obvodu KO_1 kladná hrana z A a KO1 se nastaví podle úrovně signálu K. Je-li K = 1 ($U_x>0$), uvede se i výstup Q do stavu log. 1. Výstup hradla H_3 (signál B_2) má potom průběh B a výstup hradla H (signál B_1) je trvale nulový. To podle tabulky na obr. 52 odpovídá připojení záporného referenčního napětí. Při K = 0 ($U_x<0$) je situace opačná, tzn. že B_1 = B a B_2 = 0 trvale. Výstupy KO1 slouží zároveň k řízení indikace polarity.

13 – oscilátor

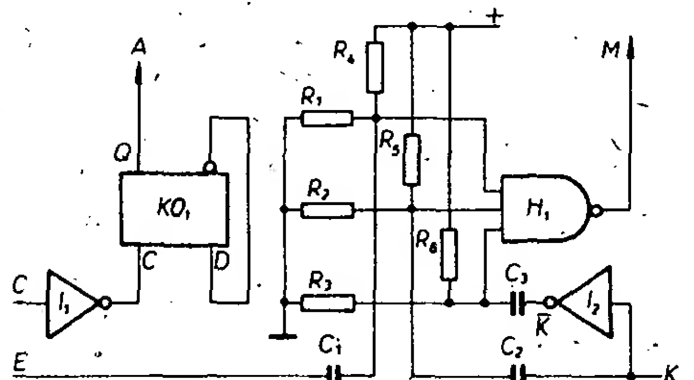
Řekli jsme si již, že stabilita oscilátoru nemá vliv na přesnost převodu, že ovlivňuje pouze stupeň potlačení sériových rušivých signálů. Velkého potlačení lze dosáhnout tehdy, je-li doba integrace U_x (tj. interval T_1 na obr. 53) celistvým násobkem periody rušení, tj. nejčastěji 20 ms. Jelikož interval T_1 je určen čítáním impulsů oscilátoru, je závislý na jeho kmitočtu. Oscilátor řízený krystalem nevyhovuje z cenových důvodů. Byl proto použit oscilátor z logických hradel (obr. 56), který se vyznačuje dobrou stabilitou a zejména nezávislostí na změnách napájecího napětí. Ve srovnání s běžnými oscilátory z hradel má více než desetkrát lepší stabilitu. Vlastní oscilátor je tvořen hradlem H_1 a invertorem I_1, odpory R_1 až R_5 a kondenzátorem C_1. Hradlo H_2 na výstupu oscilátoru slouží k blokování přístupu impulsů z oscilátoru do čítače po dobu „přehrávání" stavu čítače do paměti (signál M).

14 – čítač

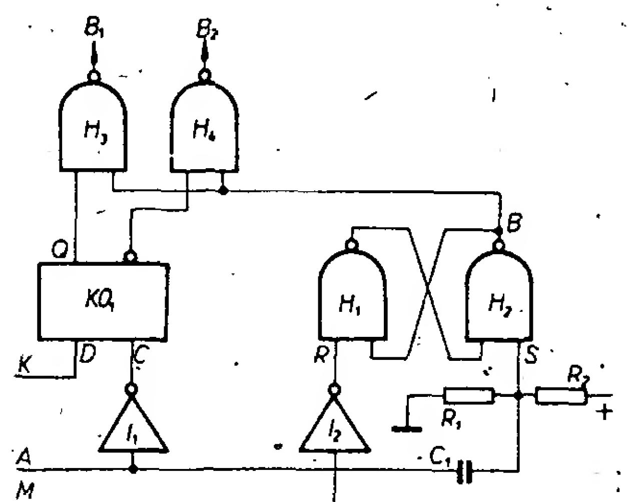
V čítači je použito běžné zapojení tří dekadických čtyřbitových čítačů MH7490



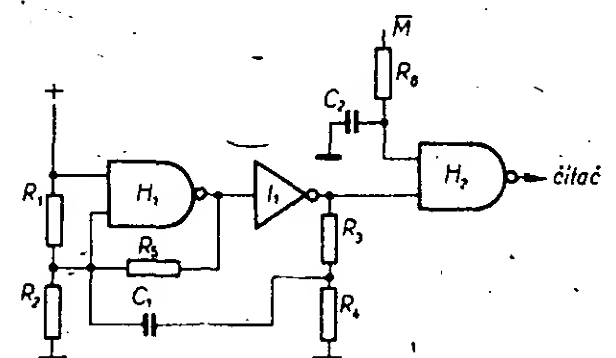
Obr. 53. Průběhy signálů v obvodech řídicí logiky



Obr. 54. Zapojení logických integrovaných obvodů pro vytvoření signálů A a M



Obr. 55. Zapojení pro vytvoření logických signálů B_1, B_2



Obr. 56. Schéma stabilního oscilátoru s blokováním při „přehrávání" stavu čítače do paměti

(viz celkové schéma číslicové části multimetru DMM 1000, které bude uvedeno dále). Po zaplnění čítače impulsy (stav 999 v kódu BCD o vahách 8, 4, 2, 1) se s příchodem dalšího impulsu z oscilátoru čítač automaticky vynuluje (stav 999 přechází na stav 000) a začne čítat znovu. Jako výstupu čítače se využívá nejvyšší váhy (8) třetí dekády.

15 – ochrana proti přetečení

Nezmění-li se během intervalu $T_2 + T_3$ (obr. 53) stav komparátoru K, musí se vytvořit na konci intervalu T_3 signál E, kterým (po zpracování v hradle H_1 na obr. 54) se „přehraje" stav čítače 999 do paměti. Při překročení rozsahu ukazuje tedy přístroj stále maximální údaj, který tedy indikuje přetečení rozsahu. Signál E se vytvoří realizací logické funkce

$E = A \cdot B \cdot D_3 \cdot A_3 \cdot D_2 \cdot A_2 \cdot D_1 \cdot A_1$ (38),

kde

D_1 až D_3 jsou výstupy jednotlivých řádů čítače o váze 8,

A_1 až A_3 výstupy jednotlivých řádů čítače o váze 1,

A, B signály definované na obr. 53.

Logickou funkci (38) lze snadno realizovat osmivstupovým logickým hradlem NAND (MH7430).

16 – paměť

Vzhledem k tomu, že čítač po zapnutí přístroje stále čítá impulsy z oscilátoru, je pro uchování výsledku měření nutná paměť. Použití paměti se velmi příznivě projeví také na indikaci výsledků převodů, neboť číselný údaj svítí stále a jen na konci převodu se změní na nový. U přístrojů bez paměti indikátory nepříjemně blikají. Je to způsobeno tím, že po dobu čítání čítače nesmí indikátory svítit. Zapojení paměti je opět zcela běžné (čtyřbitové střadače informace MH7475) a je uvedeno na schématu číslicové části multimetru.

17 – dekodér indikace

Výstupy paměťových klopných obvodů udávají číselnou hodnotu měřené veličiny v binárně dekadickém kódu (BCD) o vahách 8, 4, 2, 1. Pro indikaci pomocí číslicových výbojek je třeba tento údaj dekódovat na kód 1 z 10. Velmi snadno lze dekódování realizovat obvody MH4141, které tak uzavírají známý řetězec: čítač, paměť, dekodér.

18 – indikace

Jediným běžně dostupným indikačním prvkem je v současné době na našem trhu číslicová výbojka, zobrazující dekadické číslice 0 až 9, nebo znaménka polarity +, – a symbol ~. Zejména z konstrukčního hlediska je výhodné použít výbojky s číslicemi umístěnými svisle. Největší nevýhodou tohoto druhu indikace je potřeba vysokého napájecího napětí (+200 V) a poměrně velké rozměry. Uvedené nevýhody odstraňují perspektivní prvky s luminiscenčními diodami (LED) nebo s tekutými krystaly, zpravidla uspořádané do sedmi segmentů. Očekává se, že již v roce 1977 by měly být tyto prvky v ČSSR vyráběny. Rekonstrukce multimetru na tyto prvky není nijak obtížná. Vyžaduje pouze vedle úprav mechanických a úprav desky s plošnými spoji i vyměnit dekodéry indikace za dekodéry kódu BCD na kód vhodný k ovládání sedmisegmentových číslicových indikátorů.

Indikace desetinných teček je součástí každé číslicové výbojky a ovládá se tlačítky přepínače rozsahů.

19 – zdroje

K napájení celého multimetru potřebujeme celkem tři různá napájecí napětí:

a) +5 V pro napájení číslicových logických obvodů,

b) ±18 V pro zapojení operačních zesilovačů a ostatních analogových obvodů,

c) +200 V k napájení indikačních výbojek.

Zatímco pro zdroje +5 V a ±18 V jsou nutné napěťové stabilizátory, lze napětí +200 V pro indikaci vytvořit pouhým jednocestným usměrněním a filtrací.

Ke stabilizaci napětí by bylo výhodné použít monolitické nebo hybridní stabilizátory WSH913 a WSH914 z n. p. TESLA Lanškroun. Protože však tyto obvody dosud nejsou běžně přístupné a také cenově by nevyhovovaly, byly navrženy jednoduché stabilizátory.

5. Konstrukce multimetru

Číslicový multimetr, jehož konstrukci čtenářům předkládáme, je svými vlastnostmi určen především pro vývoj a seřizování různých elektronických zařízení přístrojového charakteru v kategorii středního stupně složitosti. Do této kategorie by bylo možno zařadit např. různá zapojení z oblasti měřicí a regulační techniky, jako např. přesný stabilizovaný napájecí zdroj, dobrý tranzistorový měřicí přístroj nebo soupravu pro proporcionální řízení modelů. Při vývoji a seřizování podobných přístrojů, charakterizovaných přesností třídy 1 %, je většinou nezbytný měřicí přístroj, jehož přesnost musí být taková, aby se chyby měření nezobrazily na parametrech vyvíjeného zapojení. Popisovaný multimetr lze samozřejmě použít i při laborování na jednodušších zařízeních (jako jsou jednoduché přijímače, různé elektronické hračky a pomocné obvody), rovněž ho lze použít při opravách apod. – tedy tehdy, kdy stačí přesnost měření v oblasti kolem pěti, deseti a někdy i dvaceti procent.

Protože náklady na stavbu jsou poměrně značné, nelze jeho stavbu doporučit amatérům, kteří jeho vlastností dokonale nevyužijí. Na druhé straně je třeba říci, že za cenu na materiál vynaložených nákladů lze stavbou multimetru získat přístroj, který by v případě, že by byl profesionálně vyráběn, stál (na základě srovnání různých cen) minimálně trojnásobek. Domníváme se, že tímto stavebním návodem by bylo možné pomoci vyřešit situaci i na některých pracovištích socialistického sektoru, která sice disponují prostředky na materiálové položky, ale mají omezené možnosti při nákupu přístrojů, jejichž cena leží nad úrovní investičního limitu.

S ukázkami konstrukcí číslicových multimetrů se již mohli čtenáři AR seznámit, bohužel šlo spíše o články informativní, jichž nelze dosti dobře využít jako podkladů nebo návodů pro stavbu. Toto konstatování není v žádném případě kritikou zmíněných publikací, protože návod ke stavbě takového zařízení, jako je číslicový multimetr, se téměř rovná výrobní dokumentaci, kterou nelze vtěsnat do dvou článků po pěti stranách. Doufáme, že se nám podařilo námět zpracovat tak, aby všichni ti, kteří se do stavby multimetru pustí a jsou vybaveni odpovídajícími prostředky, znalostmi a zkušenostmi, došli k vytčenému cíli. Stavba předpokládá základní znalosti z techniky operačních zesilovačů a číslicových obvodů, mimo to klade ještě určité (poněkud vyšší, než je obvyklé) požadavky na přesnost a čistotu pájení.

Od obecného úvodu přejdeme nyní k okolnostem provázejícím vlastní návrh obvodového řešení multimetru. Prvním krokem návrhu je technické zadání. Pečlivým posouzením, při němž základními kritérii byla co nejširší využitelnost, pořizovací cena, jednoduchost a reprodukovatelnost jsme určili základní technické parametry multimetru. Bylo stanoveno, že multimetr musí být schopen měřit stejnosměrná napětí, střídavá napětí a odpory. Po důkladném uvážení jsme se rozhodli rezignovat na možnost měřit proudy – především ze dvou hlavních důvodů: byly by třeba mnohem složitější vstupní obvody, což by znamenalo podstatné zvětšení pořizovacích nákladů, a přitom proud měříme v relaci s měřením napětí nebo odporů méně často. Kromě toho lze ve velké většině případů měřit proud jako úbytek napětí na nějakém známém odporu.

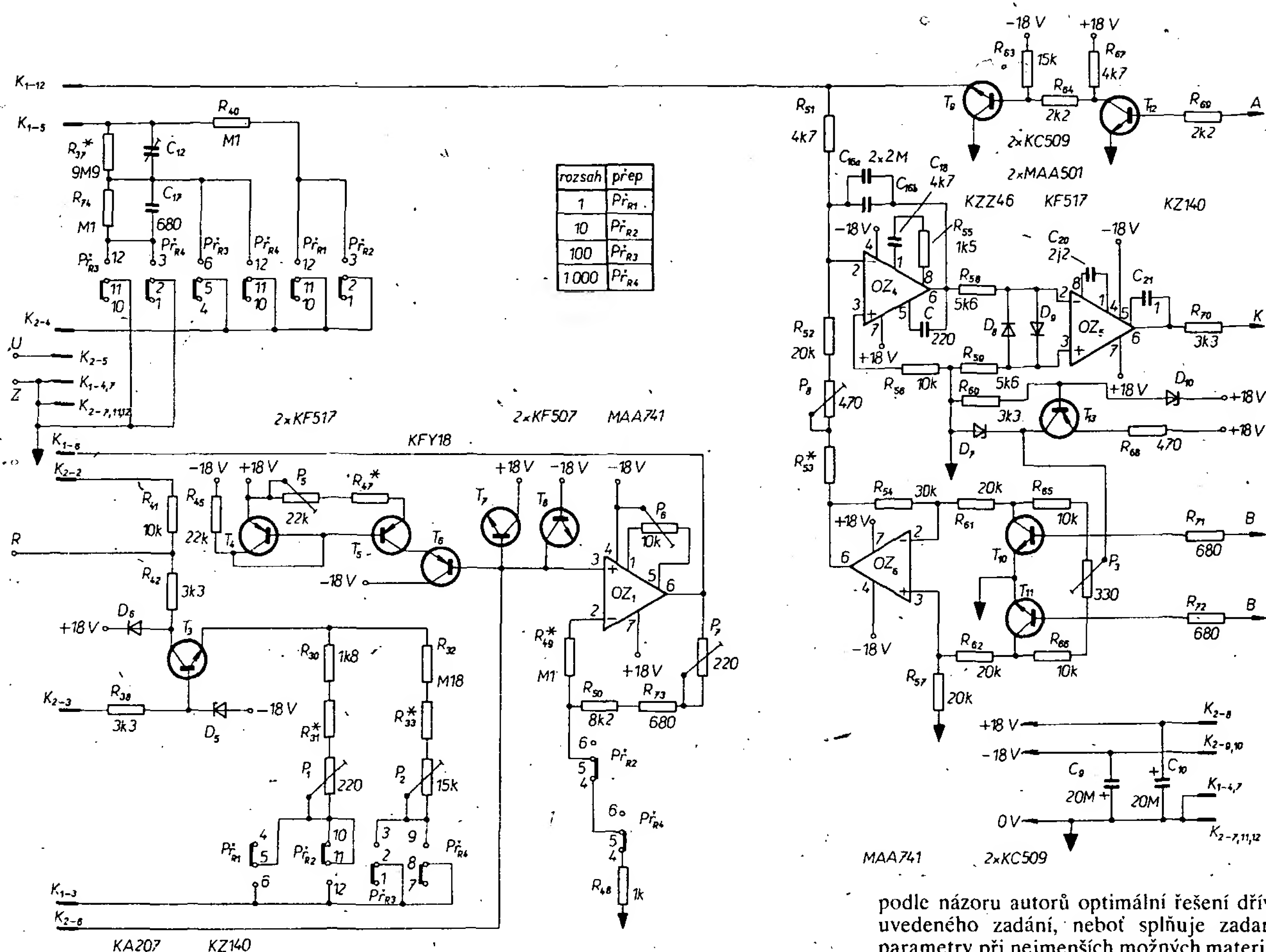
Dalším základním parametrem, potřebným pro návrh číslicového multimetru, je jeho přesnost. Požadavek přesnosti přímo souvisí s počtem indikovaných míst (řádů). Z parametrů součástek, s nimiž je možné při stavbě počítat, jsme stanovili přesnost multimetru na 0,1 % a z toho tedy vyšel počet řádů (3). Přesnost vychází i z parametrů monolitických operačních zesilovačů a pasívních součástek, které budou v multimetru použity. Vlastnosti pasívních součástek kromě toho určují (za předpokladu správného kalibrování multimetru), zda přesnost multimetru 0,1 % zůstane zachována dlouhodobě.

Číslicový multimetr požadovaných vlastností by bylo možné (jak je tomu ve většině případů) řešit několika různými způsoby. Úkolem konstruktéra (a zároveň jeho ctí) je však navrhnout a propracovat takové řešení zadaného úkolu, které splňuje všechny požadavky, aniž by byly nároky na realizaci neúměrně vysoké. To řešení, které ze všech těch, které zadané požadavky splňují, nejsnáze a nejlevněji realizovatelné, je řešení optimální. Přitom je třeba otázku realizovatelnosti posuzovat komplexně a objektivně, brát v úvahu všechny okolnosti, které se nakonec v souhrnu projeví jako cena projektovaného zařízení. Zde je třeba hodnotit nejen množství, cenu a dostupnost použitých součástek a pracnost výroby, ale také technickou úroveň a modernost řešení, jak po stránce konstrukční, tak z hlediska typů a vlastností použitých součástek. Na těchto posledních okolnostech totiž záleží, jak budou posuzovat a oceňovat konstruované zařízení potenciální zákazníci a jaký tedy bude mít nový výrobek úspěch.

V našem případě sice nešlo o vývoj číslicového multimetru pro výrobu, ale přesto jsme se snažili o to, aby, jak po stránce volby celkové koncepce, tak z hlediska propracovanosti jednotlivých obvodů snesl přístroj každou objektivní kritiku. Jsme si vědomi toho, že některé detaily neharmonují co do perspektivnosti a modernosti s celkem (např. indikace s digitrony), ale vždy je jejich použití odůvodněno argumentem nejpádnějším – realizovatelností v daných podmínkách. Danými podmínkami rozumíme pouze tuzemské a perspektivní součástky, případně součástky dovážené soustavně n. p. TESLA v rámci kooperace z některé ze zemí RVHP. Snad by dokonce bylo na místě použít výraz „prakticky využitelné" tuzemské součástkové základny, neboť je známo, že zdaleka ne všechny součástky, které jsou obsaženy v katalozích podniků TESLA, je možno koupit v maloobchodní prodejní síti.

Proto před vlastním řešením obvodů jsme si tedy nejdříve museli určit, jaké součástky použijeme. Přitom jsme narazili na neslučitelnost dvou základních požadavků: požadavku na technické vlastnosti, které již samy určují vlastnosti a tedy i typy potřebných součástek (především odporů, referenčních zdrojů a operačních zesilovačů), a požadavku čtenářů, kteří chtějí mít možnost potřebné součástky zakoupit v maloobchodní síti, neboť jinak tato publikace ztrácí značnou část své ceny.

Po důkladném zvážení všech okolností jsme se rozhodli k tomuto řešení: jako prvořadé je třeba brát hledisko technických požadavků. Přitom je zřejmé, že při shánění některých součástek to nebude mít zájemce o stavbu přístroje lehké. Součástky, o které



Obr. 57. Zapojení obvodů DMM 1000 na spodní desce – analogová část

se především jedná, jsou přesné a stabilní odpory. Domníváme se, že každý bude souhlasit s tím, že v číslicovém multimetru třídy přesnosti 0,1 % jsou přesné a stabilní odpory zcela nezbytné, že je nelze nahradit odpory z ostatních běžných řad (TR 151, TR 112, TR 144 atd.), nemá-li dojít k podstatnému zhoršení přesnosti a kvality. Do jisté míry lze tento problém řešit výběrem odporů, je však třeba hned říci, že takový postup je sice možný, ale nevyhovující a profesionálně nepřípustný. V otázce použitých číslicových indikátorů jsme byli nuceni (ač neradi) zvolit digitrony (ZM1080T pro zobrazení číslic a ZM1081 pro automatickou indikaci polarity a indikaci měření střídavého napětí). Důvodem k tomuto rozhodnutí byl fakt, že tuzemská výroba sedmisegmentových číslicových indikátorů se svítícími diodami (LED displejů) a podobně i výroba příslušných dekodérů je zřejmě stále ještě otázkou vzdálené budoucnosti a často diskutovaný pravidelný dovoz těchto součástek z NDR dosud zřejmě nebyl a ani nebude realizován. Naproti tomu velmi dobře funguje dovoz tlačítkových souprav typu Isostat od polského výrobce UNITRA a při návrhu způsobu ovládání padla volba jednoznačně na tento druh přepínačů. Trochu složitější byla situace při výběru typu operačních zesilovačů. Vzhledem k některým vlastnostem byla před zesilovači řady MAA500 dána přednost novým zesilovačům MAA741. Jejich použití přináší totiž několik dosti podstatných výhod. V době, kdy je psána tato publikace, již vzorky obvodů existují asi rok a podle informací mají být tyto zesilovače ještě v tomto roce pravidelně dodávány. Tím tedy byly zhruba probrány okolnosti, které odůvodňují použití některých ne zcela běžných součástek.

Na základě rozboru, při němž jsme se snažili uplatnit všechny významné činitele (cena a dostupnost součástek, složitost zapojení vzhledem k vlastnostem přístroje, rozměry a váha přístroje, náročnost obsluhy, praktická využitelnost a pohotovost a další) jsme stanovili technické zadání číslicového multimetru, odpovídající přibližně možnostem předpokládané součástkové základny. Jeden parametr byl již určen – přesnost 0,1 %. S tím souvisí i počet indikovaných míst (řádů) – 3. Při použití digitronů by bylo vymezení počtu řádů např. 31/2 (naplnění na 1999) nevýhodné především z ekonomického hlediska. (Jinak je tomu při použití displejů s luminiscenčními diodami. V této verzi se v zahraničí běžně vyrábějí indikátory, obsahující jedničku a znaménko polarity měřeného napětí.)

Dále jsme stanovili, že multimetr bude mít čtyři dekadicky odstupňované rozsahy a že základní rozsah bude 1 V pro měření napětí nebo 1 kΩ pro měření odporů. (Rozumí se při zcela naplněném displeji). Rozlišovací schopnost (a zároveň nejmenší indikovatelná jednotka) bude tedy při měření napětí 1 mV a při měření odporů 1 Ω. Další vyšší rozsahy pro naplněný displej budou pro měření napětí 10 V, 100 V a 1000 V, pro měření odporů 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ. Tímto zadáním byly zhruba určeny hlavní parametry a schopnosti číslicového multimetru.

V poslední kapitole teoretické části pojednání o číslicových multimetrech měli čtenáři příležitost seznámit se s příkladem možného postupu při návrhu obvodů číslicového multimetru. Tento postup byl záměrně předveden na blokovém schématu (obr. 38), který přesně odpovídá blokovému zapojení popisovaného číslicového multimetru DMM 1000. Uvedené blokové schéma představuje podle názoru autorů optimální řešení dříve uvedeného zadání, neboť splňuje zadané parametry při nejmenších možných materiálových nákladech.

Popis zapojení číslicového multimetru DMM 1000

Zapojení číslicového multimetru DMM 1000 budeme popisovat podle schématu na obr. 57, 58 a 59. Schéma celého zapojení je rozděleno na tři části, odpovídající přibližně fyzickému rozmístění jednotlivých obvodů (viz kapitola o uspořádání a mechanické konstrukci).

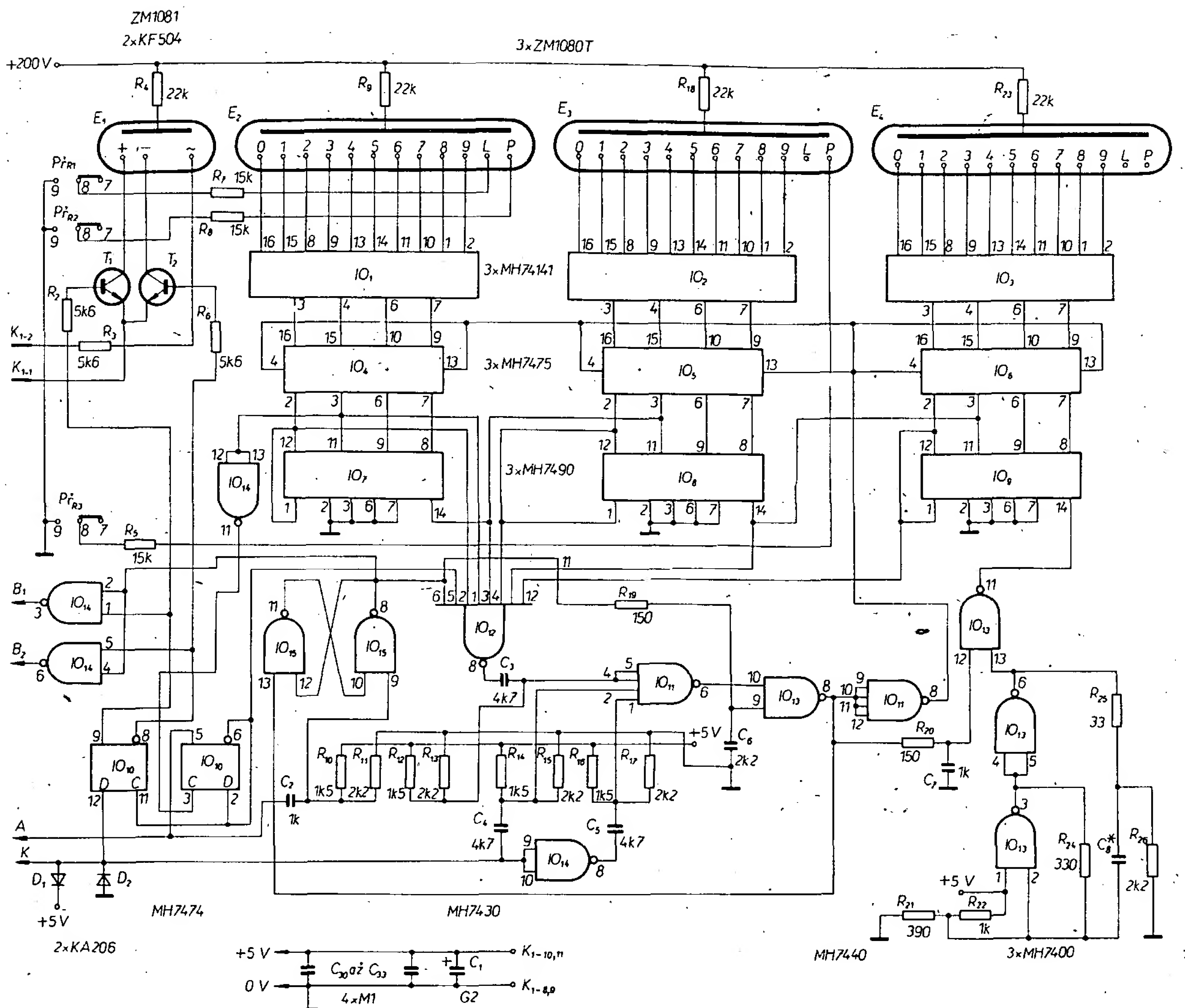
Všechny tlačítkové přepínače jsou kresleny v klidové (nestlačené) poloze, kontakty přepínačů jsou očíslovány tak, jak to vysvětlují obr. 60 a 61.

Při popisu zapojení jako při popisu návrhu jednotlivých obvodů budeme postupovat stejně, tj. budeme sledovat cestu měřených signálů. První částí jsou tedy vstupní obvody.

Vstupní obvody

Požadavky na vstupní obvody DMM 1000 se kryjí přesně s tím, co je napsáno v kapitole, zabývající se jejich návrhem. Zapojení je velmi prosté, zmíníme se pouze několika větami o součástkách. Kondenzátor C_{11} odděluje případnou stejnosměrnou složku při měření střídavého napětí. Vzhledem k velkému vstupnímu odporu přístroje je třeba, aby měl kvalitní dielektrikum s nimimálním svodem. Značné potíže byly s výběrem vhodného typu odporu R_{37}. Řešení je vidět na obr. 62. Jmenovitý odpor naznačeného uspořádání je 9,92 MΩ. Vlivem tolerancí může mít skutečný odpor toleranci až ±500 kΩ. Odpor R_{37} sestavujeme z vybraných odporů, které obstojí při několikrát opakované zkoušce tepelným zatížením, nejlépe až při seřizování multimetru. Další možností je vybrat odpor 9,9 MΩ na přesném ohmmetru (můstku) z běžných odporů 10 MΩ (TR 154 nebo TR 153).

Obvody vstupního děliče (rozsahy) se přepínají tlačítkovými přepínači $Př_{R1}$ až $Př_{R4}$. Některé ze sekcí přepínačů přepínají zpětno-



Obr. 58. Zapojení obvodů DMM 1000 na spodní desce – číslicová část

vazební obvody zesilovače Z_1 tak, aby jeho zesílení bylo podle potřeby 1 nebo 10. Analogově číslicový převodník je zkonstruován tak, aby k naplnění všech řádů (stav displeje 999) došlo právě při napětí 9,99 V. Při zadání bylo stanoveno, že jednotlivé rozsahy multimetru budou 999 mV (1 V), 9,99 V (10 V), dále 99,9 V (100 V) a 999 V (1000 V). Na prvním rozsahu se tedy předpokládá, že signál projde vstupními obvody bez zeslabení a že se v zesilovači Z_1 desetkrát zesílí (z 999 mV na 9,99 V). Na druhém rozsahu bude vlastně na vstupu převodníku přesně stejné napětí jako na vstupu multimetru, vstupní obvody i zesilovač budou mít tedy přenos 1. Při přepnutí multimetru na třetí rozsah se do cesty signálu zařadí dělič 1 : 100, současně se však zisk zesilovače Z_1 nastaví opět na 10. To tedy znamená, že celkový přenos je 1/10, takže z napětí 99,9 V, dostaneme opět potřebné napětí 9,99 V. Konečně ve čtvrtém rozsahu se vstupní signál jen dělí ve vstupním děliči, takže z napětí 999 V dostaneme opět napětí 9,99 V. Zde však musíme uvést jedno důležité upozornění. Na posledním rozsahu bychom sice mohli teoreticky měřit napětí až do 999 V, parametry použitých součástek (odpory, kondenzátory, vstupní zdířky, přepínače) snižují prakticky využitelný měřicí rozsah na 400 V. Při měření odporů samozřejmě zůstávají všechny rozsahy bez omezení.

Vstupní zesilovač

V úvodní kapitole konstrukční části jsme se zmínili o tom, že jsme (na některých místech zapojení) dali přednost novým monolitickým operačním zesilovačům, které se v n. p. TESLA Rožnov připravují do výroby. Jde o zesilovače typu MAA741. Hlavním důvodem k jejich volbě byl požadavek co největšího rozsahu vstupního napětí, kterému jinak očekávané a běžně dostupné zesilovače řady MAA500 nevyhovují. Je třeba připomenout, že vzhledem k tomu, že zesilovače musí zpracovat i střídavé napětí až 10 V, může být amplituda vstupního napětí až 14 V, proto jsou operační zesilovače napájeny ze zdroje napětí ±18 V. Použití zesilovačů MAA741 má i tu výhodu, že lze kompenzovat vstupní napěťové nesymetrie (trimrem P_6), nemluvě již o vnitřní kmitočtové kompenzaci, zjednodušující celkové zapojení tohoto zesilovače v obvodech.

Odpor R_{39} je v sérii s invertujícím vstupem zapojen proto, aby byl v případě, nepoužijeme-li obvody pro kompenzaci vstupního proudu, v obou vstupech zařazen přibližně stejný odpor (jako R_{40}). Bude-li zapojení vybaveno obvodem pro kompenzaci vstupního proudu, zapojíme místo R_{39} zkratovací spojku.

Obvody zpětné vazby určující velikost zesílení jsou složeny z odporů a z odporového trimru (P_7), aby bylo možno přesně nastavit požadované zesílení, neboť přesné odpory s tolerancí menší než 1 % jsou pro amatérskou veřejnost zcela nedostupné.

Obvod pro kompenzaci vstupního proudu

S podrobným popisem tohoto obvodu, zdůvodněním jeho použití a výkladem činnosti se již čtenáři seznámili. Podotýkáme tedy pouze, že ho lze ze zapojení vypustit. Pak se nebudou osazovat do desky s plošnými spoji tranzistory T_4, T_5 a T_6, odpory R_{45}, R_{47} a trimr P_5. V takovém případě je ovšem třeba použít R_{39} a R_{41} zvětšit na 0,1 MΩ.

Obvody ochrany proti přetížení a filtr

Ochranu ohroženého neinvertujícího vstupu zesilovače Z_1 obstarávají přechody báze–kolektor tranzistorů KC507, zapojené vzhledem k napájecím větvím v závěrném směru.

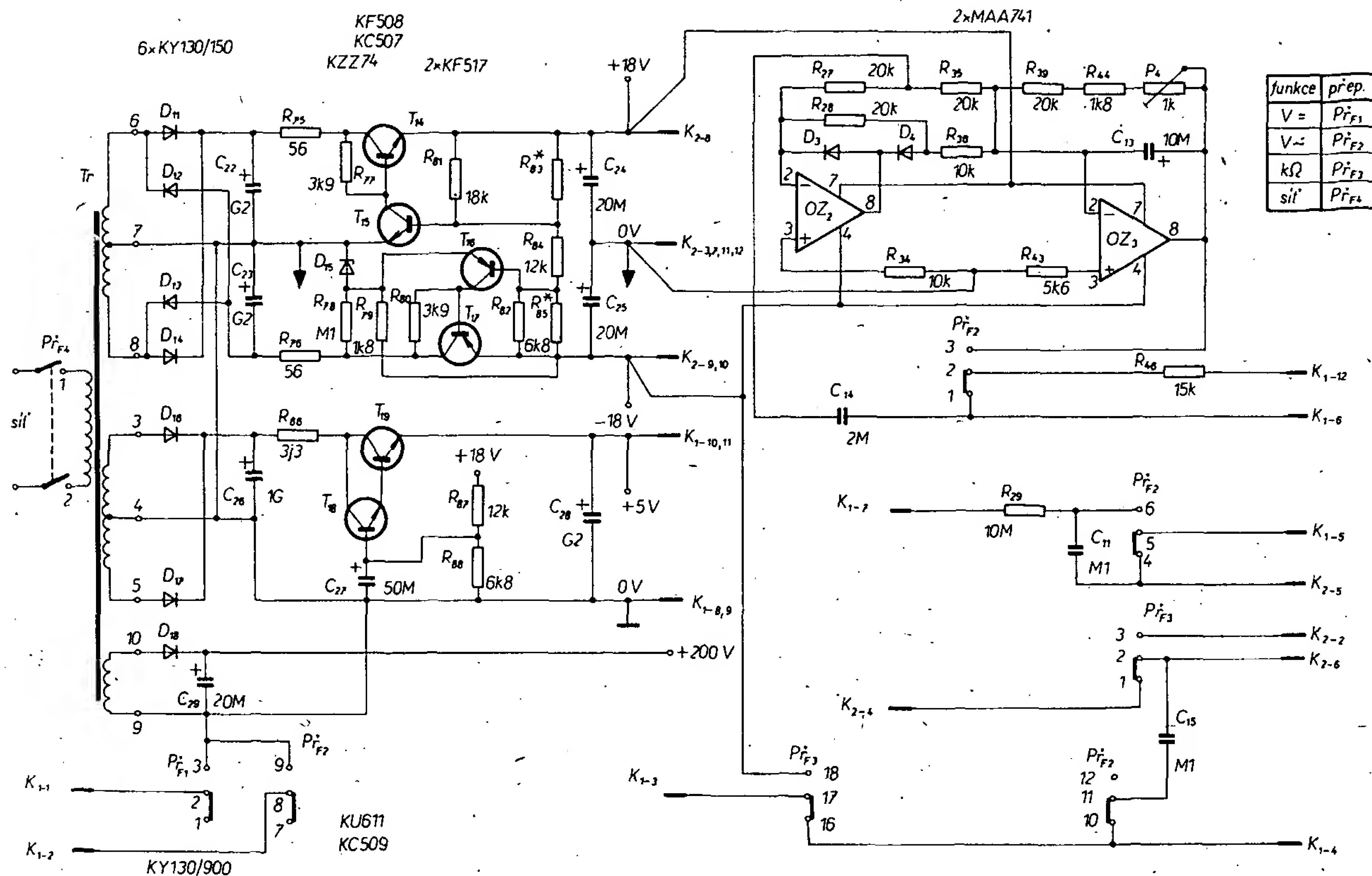
Kondenzátor filtru C_{15} je připojen paralelně ke vstupu zesilovače a jeho případný svod by měl nepříznivý vliv na přesnost multimetru. Proto i zde volíme typ s co největším izolačním odporem. Při měření střídavých napětí musíme pochopitelně tento kondenzátor od vstupu Z_1 odpojovat, což zajišťuje jedna sekce přepínače funkcí $Př_{F2}$.

Převodník střídavých napětí na stejnosměrná

Obvody převodníku AC-DC není třeba znovu vysvětlovat. Připomeneme si pouze, že trimrem P_4 nastavujeme přesně jednotkový poměr mezi efektivní hodnotou vstupního střídavého napětí a velikostí výstupního stejnosměrného napětí. Odpory R_{34} a R_{43} volíme tak, abychom co nejvíce potlačili vliv vstupních proudů zesilovače Z_2 a Z_3. Vzhledem k vlastnostem použitých zesilovačů však není jejich velikost kritická.

Obvod pro měření odporů

Zdroj konstantního proudu je přepínán podle zvoleného rozsahu v poměru 1 : 100



Obr. 59. Zapojení obvodů DMM 1000 na horní desce

(10 μA a 1 mA) a z tohoto hlediska tedy plní při měření odporů podobnou funkci, jako vstupní dělič při měření napětí. K seřízení výstupního proudu zdroje na jmenovitou velikost slouží trimry P_1 a P_2, ochranu zdroje před zničením (při náhodně připojeném napětí na svorku *R*) zajišťuje R_{42} spolu s D_6. Odpor R_{41} (za podobných okolností) chrání před zničením Z_1.

Analogově číslový převodník

V předchozích odstavcích jsme si všímali konstrukčních detailů vstupních obvodů multimetru DMM 1000. Nyní jsme se dostali k obvodům, které převádějí analogové veličiny (napětí) na formu, kterou můžeme nakonec zobrazit digitrony jako číslo. Analogově číslicový převodník je tvořen v podstatě čtyřmi částmi (pro zjednodušení prozatím oddělíme logickou síť, nakreslenou na obr. 58). Patří sem spínač vstupního napětí, integrátor, komparátor a přepínač referenčního napětí. Spínač vstupního (měřeného) napětí byl popsán v předchozí kapitole, podobně jako integrátor a komparátor. Přepínací referenční zdroj je obecně velmi užitečný obvod, kterého lze dobře využít i v jiných případech (např. u přesného generátoru signálu trojúhelníkovitého průběhu apod.) V každém případě je třeba počítat s tím, že přechod z jedné polarity na druhou se neděje skokem, ale rychlostí, odpovídající kmitočtovým vlastnostem použitého zesilovače. U zesilovače MAA741 je tato rychlost asi 0,5 V/μs. Změna polarity napětí na výstupu zesilovače tedy trvá více než 10 μs. Proto jsme zvolili u DMM 1000 *relativně dlouhou dobu převodu (160 ms)*. Přepínač referenčního napětí má ve svých obvodech prvky (trimry), které umožňují nastavit jak symetrii při obou polaritách napětí (P_3), tak správnou velikost referenčního proudu, tekoucího do vstupu integrátoru (P_8).

Číslicová část DMM 1000

Zapojení celé číslicové části multimetru DMM 1000 je na obr. 58. S analogovými obvody je tato část přístroje spojena čtyřmi signálovými vodiči, označenými A, K, B_1 a B_2. Signály A, B_1 a B_2 jdou z číslicové části do analogové, signál K jde směrem opačným. Signálem A se řídí spínač vstupního napětí, signály B_1 a B_2 určují stav přepínače referenčního napětí. Signálem K se ovládá činnost logických obvodů. Protože napětí na výstupu komparátoru je asi +15 a −15 V, převádíme tato napětí s pomocí R_{70}, D_1 a D_2 na úrovně vhodné pro číslicové integrované obvody. Digitron, indikující automaticky polaritu měřeného napětí, je ovládán T_1 a T_2, které jsou řízeny z obvodu pro rozlišení polarity. Indikace polarity se odpojuje (při měření odporů), popř. znaménko ~ (při měření střídavého napětí) se spíná kontakty funkčních tlačítkových spínačů ($Př_F$).

Popisem ostatních obvodů číslicové části se již nebudeme zabývat, neboť funkce celkového zapojení již byla podrobně vysvětlena a popis jednotlivých integrovaných obvodů patří spíše do publikace katalogového typu.

Zdroje

V závěru popisu zapojení ještě několik slov k napájecím zdrojům. Při proměřování vývojového prototypu jsme zjistili, že zkonstruovaný číslicový multimetr je (díky principu zapojení) velmi nenáročný na stabilitu napětí napájecích zdrojů. Např. změna v kterékoli z obou větví ±18 V až o 2 V nezpůsobí ještě v údaji chybu 0,1 %. Proto jsme použili k napájení tak jednoduché stabilizátory, jaké jsou na obr. 59. Jak je na první pohled zřejmé, jde o symetrický stabilizátor ±18 V s tzv. vlečnou regulací, přitom od větve +18 V odvozujeme ještě napětí pro řízení zdroje +5 V k napájení číslicových integrovaných obvodů. Velký podíl na nezávislosti přesnosti multimetru na napájecím napětí má mimo jiné to, že referenční dioda D_7 je napájena ze zdroje konstantního proudu (T_{13} na obr. 57).

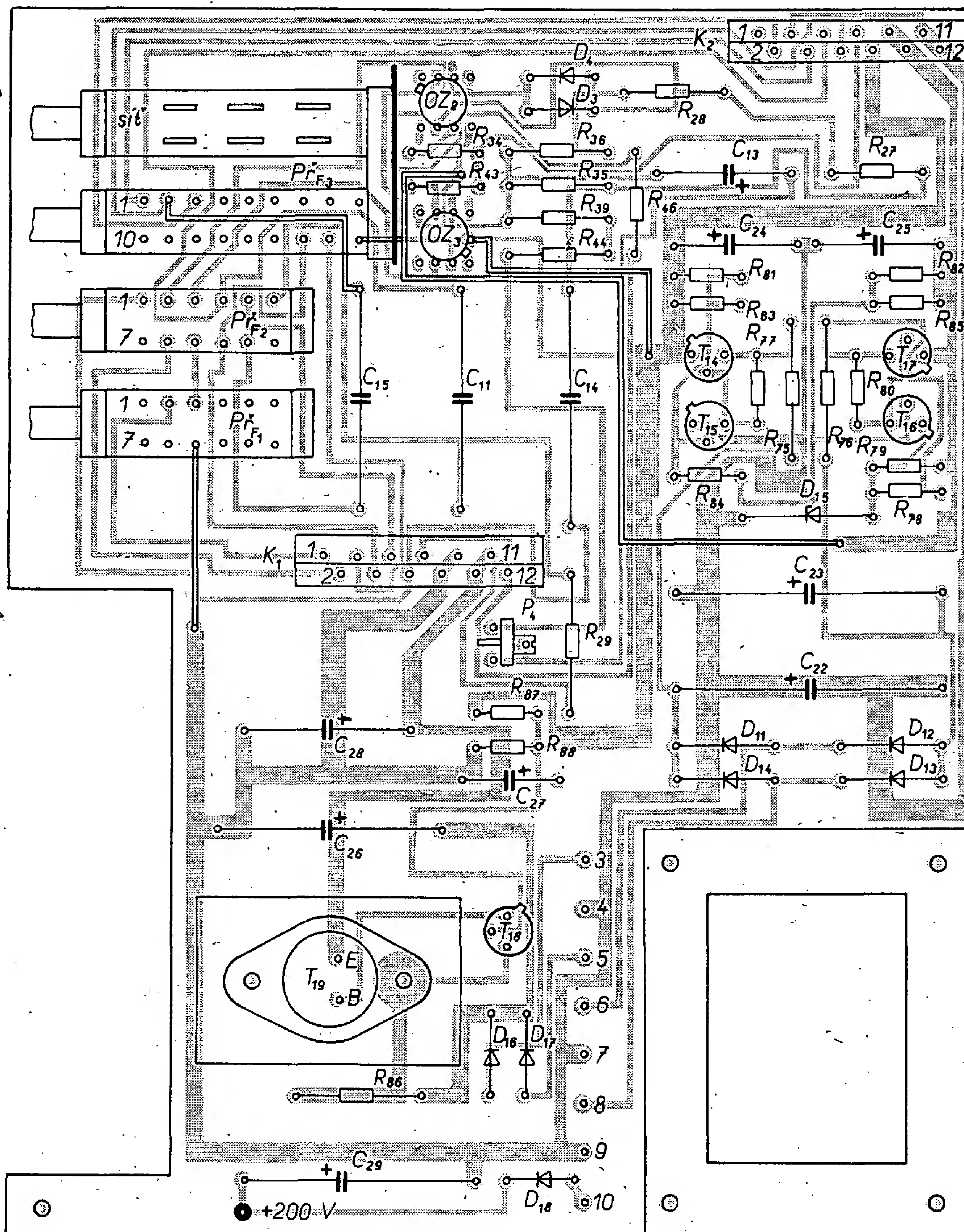
Popisem zapojení zdrojů jsme vyčerpali obvodovou problematiku číslicového multimetru. Poslední kapitola je věnována praktickým pokynům, které mají co nejvíc usnadnit stavbu DMM 1000, neboť byly shromážděny právě při realizaci prototypu.

Uspořádání a mechanická konstrukce číslicového multimetru

Představu o uspořádání jednotlivých dílů, ze kterých je složen popisovaný číslicový multimetr, je možné získat z fotografií na 4. str. obálky. Jak je z fotografií patrné, obvody multimetru jsou zapojeny na dvou deskách s plošnými spoji. Jedna deska (horní) je běžná (druh se spoji po jedné straně), druhá deska má spoje na obou stranách. Použít jednu desku s oboustrannými plošnými spoji jsme museli proto, že zapojení obvodů číslicového multimetru je poměrně komplikované. Při zhotovení desky s oboustrannými plošnými spoji však nebyla použita technika prokovovaných děr. Při návrhu plošných spojů jsme vycházeli z toho, že zhotovení desky s oboustrannými plošnými spoji je sice komplikovanější než zhotovení běžné desky, že je však i v amatérských podmínkách v zásadě možné. Přitom cena desky s jednostrannými plošnými spoji je na jednotku plochy téměř shodná s cenou desky s oboustrannými spoji. Cena desek s oboustrannými plošnými spoji s prokovenými děrami je však několikanásobně vyšší a jejich zhotovení je v amatérských podmínkách prakticky zcela nemožné.

Deska s oboustrannými plošnými spoji bez prokovených děr se navrhuje shodně jako každá jiná deska, pouze návrh rozložení a vedení spojů (spojového obrazce) je poněkud obtížnější, protože přestupy z jedné desky na druhou mohou být pouze v místech, v nichž prochází deskou vývod nějaké součástky. Ten se potom zapájí z obou stran a tím se vodivě spojí místa, ležící proti sobě na obou stranách desky.

Ve smontovaném stavu jsou obě desky vzájemně rovnoběžné a stranami se součástkami obráceny k sobě. Smontovaný celek je kompaktní a velmi pevný, neboť obě desky jsou spolu spojeny sešroubováním (vpředu šrouby, zataženými do dvou rozpěrných hra-



Obr. 60. Rozložení součástek na horní desce (deska K237)

nolků, vzadu čtyřmi šrouby, stahujícími zároveň plechy jádra síťového transformátoru). Velká tuhost takového uspořádání vede k odolnosti vůči závadám, vznikajícím např. přerušením plošných spojů při mechanickém namáhání (nárazech).

Multimetr je kompaktní nejen po mechanické, ale i po elektronické stránce. Na deskách s plošnými spoji jsou nejen všechny elektronické obvody, ale také ovládací prvky (funkční i rozsahové tlačítkové přepínače) a napájecí zdroje včetně síťového transformátoru. Tím je dáno, že po smontování kompletně osazených desek obdržíme celek, k němuž pouze přivedeme síťové napájecí napětí. Z toho důvodu nejsou při propojování použity téměř žádné drátové spoje (kromě několika pomocných drátových propojek a spoje primárního vinutí síťového transformátoru – síťový spínač). Obvody umístěné na spodní a horní desce jsou spolu v několika bodech propojeny. Toto spojení při smontování obstarávají dva upravené řadové konektory (výrobce TESLA Jihlava), které na sebe při sesazení obou desek přesně dolehnou. Rozteč (vzdálenost) mezi vnitřními povrchy obou desek s plošnými spoji ve smontovaném stavu je 34 mm.

Čelní panel číslicového multimetru (obr. 63) je připevněn dvěma šrouby k předním rozpěrným hranolkům a tvoří se smontovanými deskami pevný celek. V čelním panelu je v místě digitronů okénko, do něhož je zamáčknuta destička z poloprůhledného organického skla, volbu barvy necháváme na možnostech a vkusu každého jednotlivce. Dále jsou v panelu vypilovány dva obdélníkovité otvory, z nichž budou vyčnívat tlačítka obou tlačítkových souprav Isostat. Pod nimi jsou čtyři díry pro vstupní zdířky. Po vyvrtání těchto děr si u všech vypilujeme například na spodní části otvorů kulatým jehlovým pilníkem půlkruhové vybrání pro aretační výstupky zdířek WK 45 404.

Připevňovací šrouby jsou v čelním panelu upevněny tak, aby nerušily vzhled. Toho jsme dosáhli tím, že jsme šrouby s půlkulatou hlavou vložili do zapuštěných děr, z druhé strany stáhli maticemi a obě hlavy zakápli malým množstvím epoxidové pryskyřice. Po vytvrzení můžeme pryskyřici vyhladit jemným pilníkem a po přestříkání panelu nezbudou po šroubech na čelním panelu žádné stopy. Čelní panel je přestříknut barvou ve spreji, odstín je třeba volit tak, aby byly dobře vidět nápisy zhotovené suchými obtisky (třeba Transotype). Velmi elegantní je kombinace černé barvy s bílými nápisy, dávající multimetru profesionální vzhled.

Zadní panel multimetru má stejné rozměry jako panel čelní a je v něm vyvrtána jedna řada děr, umožňujících odvod tepla. Tyto otvory jsou nasávací, oteplený vzduch vystupuje ze skříňky děrami v horním dílu pláště skříňky.

Plášť skříňky tvoří dva stejné díly z ocelového plechu tloušťky 0,8 mm. Na spodní díl připevníme dvěma úhelníčky zadní panel multimetru, na horní díl čtyřmi šroubky M2 × 3 mm dva pásky z leštěného nerezové-

ho plechu, které jsou ohnuty podle obrysu čelního panelu. Dalšími dvěma šroubky potom sešroubujeme při konečné montáži skříňky oba díly dohromady.

Součástky

Součástky použité v zapojení číslicového multimetru můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií. Do první kategorie řadíme ty, které se při stavbě použijí tak, jak je dostaneme v obchodě, tedy bez jakýchkoli úprav (neuvažujeme třeba zkracování vývodů odporů apod.). Tyto součástky tvoří naprostou většinu, patří sem odpory, kondenzátory, tranzistory, diody, integrované obvody, digitrony a odporové trimry. Do druhé skupiny patří součástky, které buď získáme úpravou nebo sestavením běžných komerčních součástek, nebo které si musíme sami zhotovit. K těmto součástkám patří síťový transformátor, konektory k propojení obou desek s plošnými spoji, tlačítkové soupravy přepínačů pro volbu funkce multimetru a pro volbu rozsahu a téměř všechny mechanické díly (kromě šroubků a matic).

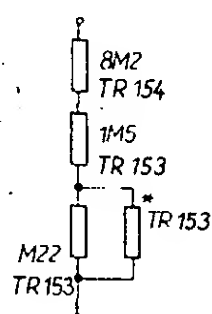
Odpory

Odpory v multimetru ve většině případů mají za úkol nějakým způsobem zajišťovat správnou činnost jiných součástek (nastavení pracovních bodů, srážecí nebo ochranné odpory atd.), někde však tvoří přesný napěťový dělič nebo součást zpětnovazebních obvodů operačního zesilovače apod. V prvním případě na přesnosti ani na stabilitě odporu příliš nezáleží, protože jeho změny nemají patrný vliv na přesnost celého multimetru. Na těchto místech jsou použity odpory řady TR 151, které svými vlastnostmi plně vyhovují. Velmi vhodné jsou např. i odpory řady TR 191, které však zatím nejsou bohužel v maloobchodním prodeji běžné. Pro použití na místech, na nichž jsou na přesnost a stabilitu odporů kladeny vyšší nároky (kde na nich přímo závisí přesnost multimetru), jsme zvolili odpory z řady TR 161. Hlavním důvodem není ani tak jejich přesnost (na místech, která mají vliv na absolutní přesnost multimetru, jsou odporové trimry), jako jejich časová stabilita a malý teplotní koeficient. Všechny tyto odpory je v zásadě možné nahradit bez újmy na funkci rovněž odpory z řady TR 151, musíme však počítat s tím, že se všechny nepřesnosti nakonec sečtou ve velkou chybu.

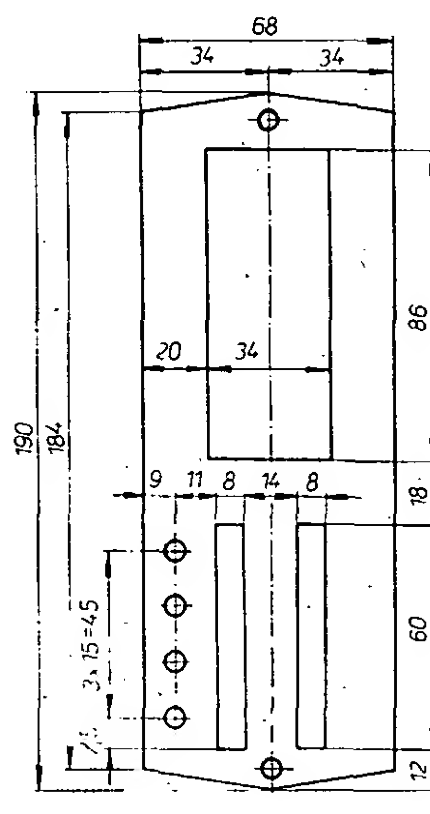


Obr. 61. Rozložení součástek na spodní desce (deska K238)

Jedinou výjimku jsme nakonec udělali u horního odporu vstupního děliče (pro rozsahy vyšší než 10 V). Složit odpor 9,9 MΩ z odporů řady TR 164 (odpor 1 MΩ se v menším provedení nevyrábí) je vzhledem k nárokům na prostor nereálné. Proto jsme po zkouškách teplotní stability a po několika cyklech umělého stárnutí použili kombinaci odporů z řady TR 154 a TR 153 (obr. 62), nastavenou přesně na požadovaný odpor (při kalibraci multimetru).



Obr. 62. Náhrada odporu R_{37} odpory řady E12



Obr. 63. Nákres čelního panelu

Kondenzátory

Všechny kondenzátory použité v obvodech číslicového multimetru jsou běžné typy, bez zvláštních nároků na kvalitu. Pouze kapacita kondenzátoru C_8, určující kmitočet generátoru v číslicové části přístroje, se musí přesně nastavit paralelními kondenzátory. Je třeba, aby kondenzátor C_8 i přidávané kondenzátory měly co nejmenší teplotní koeficient. Čím větší totiž bude odchylka kmitočtu tohoto generátoru od 12,5 kHz, tím méně bude potlačen rušivý signál síťového kmitočtu. Z ostatních kondenzátorů si zaslouží zmínku jen C_{11} a C_{15}, jejichž typ byl zvolen s ohledem na požadavek co nejmenšího svodu. Integrační kondenzátor (C_{16} a C_{17}) doporučujeme nahradit v případě možnosti

rozměrově menším kondenzátorem 2,2 μF dováženým z NDR; pak nebudeme muset zapojovat diody D_{13} a D_{14} u horní desky s plošnými spoji ze strany spojů.

Polovodičové prvky

V obvodech multimetru je využita široká paleta polovodičových součástek, od nejjednodušších (diody) až po značně složité (číslicové integrované obvody MSI). Protože při návrhu všech obvodů byly za základ brány katalogové údaje, není třeba polovodiče vybírat. Užitečné však bude, vyčleníme-li ze všech zesilovačů MAA741 kus, který má nejmenší vstupní proudy, a ten použijeme na vstupní zesilovač. Při výběru můžeme použít například metodu, uvedenou v [18]. Pokud bychom měli možnost indikovat proudy řádu desítek až stovek pikoampérů, můžeme si pro ochranu vstupního zesilovače vybrat ze všech KC507 tranzistory T_7 a T_8 ty kusy, které propouští přechodem kolektor-báze v závěrném směru při napětí asi 32 V nejmenší proud. Díry pro vývody operačních zesilovačů v destičce s plošnými spoji jsou uspořádány do dvou řad, aby bylo případně možno použít v zahraničí hojně rozšířené zesilovače v pouzdru z plastické hmoty, nazývaném mini-dip. Vývody operačních zesilovačů v běžných kovových kulatých pouzdrech lze snadno vytvarovat do dvou řad a takto upravené zesilovače potom vložit a zapájet do destičky.

Digitrony

V multimetru jsou pro zobrazení výsledků měření použity číslicové indikátory ZM1080T a indikátor ZM1081, zajišťující indikaci polarity měřeného napětí, případně indikaci přepnutí multimetru na měření střídavého napětí. S digitrony typu ZM1080T nejsou žádné potíže. Může se však stát, že s opatřováním „znaménkových" digitronů budou stále ještě problémy, a proto upozorňujeme na možnost jejich náhrady podobným indikátorem polské výroby, který se prodává v prodejnách TESLA. Tento indikátor má však odlišně zapojené vývody!

Informací o digitronech jsme skončili pojednání o součástkách, které „jak je koupíme, tak je použijeme". Dále se budeme věnovat součástkám, které musíme předem zvlášť upravit nebo zhotovit.

Síťový transformátor

K napájení všech obvodů multimetru potřebujeme tři napájecí zdroje. Energii pro všechny tři zdroje přivádíme do multimetru přes síťový transformátor, který má tři oddělená sekundární vinutí. Transformátor je na jádru EI 20 × 20 mm, primární vinutí (220 V, 50 Hz) má 2850 z drátu o ∅ 0,15 mm, první sekundární vinutí (190 V) má 2700 z drátu o ∅ 0,08 mm, druhé (2 × 22 V) má 2 × 300 z drátu o ∅ 0,12 mm a třetí (2 × 9 V) má 2 × 135 z drátu o ∅ 0,35 mm.

Jako první navineme primární vinutí, které od sekundárních sekcí oddělíme důkladnou izolací několika vrstvami olejového plátna. Potom vineme všechna tři sekundární vinutí v tomto pořadí: nejprve vinutí 190 V pro napájení digitronů, potom vinutí 2 × 22 V a nakonec vinutí 2 × 9 V. Napětí sekundárních vinutí jsou určena s dostatečnou rezervou (po zkušenosti z provozu jsme vzali zřetel i na zvětšení odporu vinutí ohřátím při dlouhodobém provozu). V případě možnosti dáme síťový transformátor naimpregnovat. Všechny vývody zkrátíme na délku asi 30 mm, dráty očistíme a pocínujeme. Tím je síťový transformátor připraven k montáži do desky s plošnými spoji.

Tlačítkové přepínací soupravy

Číslicový multimetr obsahuje dvě soupravy tlačítkových přepínačů. Jedna souprava je určena k přepínání rozsahů, s druhou připojujeme multimetr k síti a volíme požadovanou funkci (měřenou veličinu). Souprava přepínačů k volbě měřicích rozsahů je složena ze čtyř vzájemně se vybavujících tlačítek po čtyřech přepínacích kontaktech. Pokud nezískáme tuto soupravu hotovou, složíme ji z jiné soupravy bez zvláštních potíží. Různých vhodných souprav prodávají obchody TESLA značný sortiment. Rozteče všech tlačítek (u obou souprav) jsou 15 mm. Tlačítková souprava pro přepínání funkcí obsahuje jedno síťové tlačítko se samostatnou aretací a tři vzájemně se vybavující tlačítka. Při pohledu na soupravu shora, směřují-li ovládací konce tlačítek směrem k nám, bude síťové tlačítko první zleva. Tlačítko vedle síťového tlačítka má šest přepínacích kontaktů, zbývající dvě mají po čtyřech kontaktech. (Poslední tlačítko – úplně napravo – může mít jen dva přepínací kontakty). Protože síťové tlačítko nebude zasunuto a zapájeno do desky s plošnými spoji, musíme se postarat o jeho mechanické upevnění tím, že ho také vzadu mechanicky „svážeme" se sousedním tlačítkem (proto je tlačítko $Př_{F1}$ tak dlouhé, ačkoli jeho kontakty nejsou využity) stejnou lištou, na níž jsou tlačítka upevněna vpředu (lišta bude ovšem kratší).

Propojovací konektory

Při popisu celkového uspořádání číslicového multimetru jsme si řekli, že obě desky s plošnými spoji jsou vzájemně propojeny dvěma řadovými konektory s dvanácti kontakty. Protože vzdálenost mezi oběma deskami s plošnými spoji je 34 mm, nemohli bychom konektory zapájet do desky tak, aby konektor k desce těsně přilnul. Při takovém způsobu montáže by však nebyla zaručena potřebná tuhost připevněného konektoru a po několikerém spojení by se konektor pravděpodobně mechanicky poškodil, jakost propojení by se zmenšila stejně jako spolehlivost celého číslicového multimetru. Proto musíme konektory zapájet do desky tak, aby byly podepřeny distančními podložkami potřebné výšky. V našem případě jsme použili konektory typu WK 465 44 (do spodní desky) a WK 46 202 do horní desky. Tyto konektory mají 24 pólů a jejich rozříznutím v polovině (v místě střední díry) dostaneme potřebné dva páry. Aby se však rozříznuté kusy nerozpadly (konektory jsou sestaveny ze dvou polovin, stisknutých podélně k sobě a přidržovaných vodicími čepy v místě děr) musíme je ještě před rozříznutím pevně spojit, např. slepením; do podélné spáry (do místa styku obou dílů) vpravíme štětečkem několik kapek acetonu nebo nitroředidla. Aceton vzlíná do spáry a naleptá povrch plastické hmoty, z níž je těleso konektoru vyrobeno. Zajistíme-li nyní, že aceton vyschne za stavu, při němž budou obě poloviny stlačeny k sobě (stačí položit konektor na rovnou podložku a zatížit) spojí se po několika minutách oba podélné díly konektoru, který potom můžeme bez obav napříč rozdělit na dvě poloviny. Tímto způsobem postupujeme u konektorů pro spodní i horní desku (zásuvka a vidlice). Celková výška obou konektorů (spojíme-li zásuvku a vidlici) je 17 mm (10 mm zásuvka, 7 mm vidlice). Víme, že vzdálenost mezi deskami s plošnými spoji je 34 mm, takže potřebujeme konektory zapájet do desek tak, aby celková tloušťka distančních podpěrek byla stejná jako výška obou spojených konektorů. Zde se nabízí velmi jednoduché a elegantní řešení. Pro zhotovení distančních podpěrek jsme použili tělíska ze starých vyřazených konektorů stejného typu (bez kontaktů), kterými jsme „nastavili" výšku tělísek konektorů na dvojnásobek. Zásuvka bude nyní dlouhá 20 mm a vidlice 14 mm, což dává dohromady potřebné 34 mm.

Před nasazováním prodlužovacích tělísek do vidlice musíme nejprve v nástavném tělísku proříznout lupenkovou pilkou drážky do větší hloubky, aby vývody vidlice prošly tělískem bez změny roztečných vzdáleností obou řad. Délky vývodů konektorů pro zapájení toto řešení umožňují, neboť při zasunutí tohoto celku do desky vyčnívají ze strany spojů v dostatečné délce, umožňující spolehlivě zapájet všechny vývody. Nástavné díly po nasunutí na vývody konektorů opět slepíme acetonem, a to jak podélně (obě poloviny v podélné spáře), tak i čelně k tělísku již slepeného konektoru. Po slepení tvoří každý díl konektoru pevný celek, plnící zcela spolehlivě svěřenou funkci.

Chladič výkonového tranzistoru

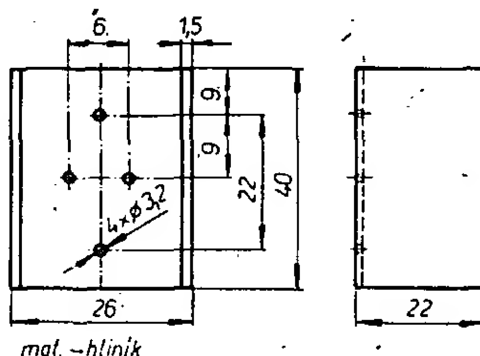
Ke zlepšení odvodu tepla do okolí je výkonový tranzistor T_{18} ve zdroji +5 V pro napájení číslicových integrovaných obvodů opatřen chladičem. Chladič je zhotoven z ohnutého hliníkového plechu podle náčrtku na *obr. 64*. Je výhodnější, vyvrtáme-li všechny díry do plechu ještě před jeho ohnutím. Kdo má možnost, může si chladič černě naeloxovat, stačí však přestříknout chladič po odmaštění slabou vrstvou černé matové barvy, která se prodává ve spreji. Na chladič předem připevníme výkonový tranzistor KU611 dvěma šroubky M3 × 12 mm a dvěma maticemi M3, styčnou plochu obou součástí však předem pokryjeme slabou vrstvou silikonové vazelíny (pro zlepšení přestupu tepla z pouzdra tranzistoru do tělesa chladiče).

Rozpěrné hranolky

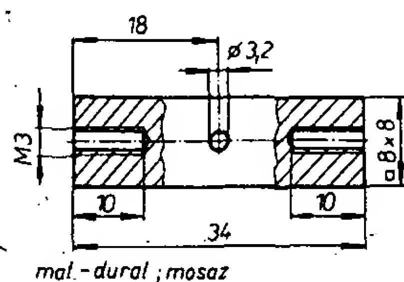
Rozpěrné hranolky tvoří dva ze tří bodů, v nichž jsou mechanicky pevně spojeny obě desky s pološnými spoji (třetím bodem je síťový transformátor). Hranolky jsou umístěny v obou předních rozích desek, jeden vedle „znaménkového" digitronu a druhý vedle tlačítkových přepínacích souprav. Rozměry obou rozpěrných hranolků jsou na *obr. 65*.

Rozpěrné hranolky slouží zároveň k připevnění čelního panelu multimetru ke smontované sestavě destiček s plošnými spoji. K tomuto účelu je v každém hranolku vyvrtána díra kolmo k jeho podélné ose.

Kromě těchto rozpěrných hranolků potřebujeme ještě zhotovit distanční válečky, jimiž zvětšíme výšku svazku plechů síťového transformátoru tak, aby celková výška byla 34 mm. Transformátor bude do multimetru vestavěn tak, aby zůstal (při oddělování desek s plošných spoji od sebe) pevnou součástí horní desky, protože na této desce jsou obvody všech zdrojů. Detaily konstrukce jsou zřejmé z fotografií na 4. straně obálky.



Obr. 64. Chladič tranzistoru T_{18}



Obr. 65. Rozpěrné hranolky

Stavba

Při amatérské stavbě elektronických zařízení všeho druhu se velmi často improvizuje. Bývá to vidět jak na technologické stránce přístroje (např. na způsobu zhotovení desky s plošnými spoji, na způsobu montáže atd.), tak i na použitém materiálu. Nechceme tyto improvizace jednoznačně odmítnout, neboť velmi často nezbývá nic jiného, než např. při výběru součástek udělat určitý kompromis, ať již z cenových důvodů nebo prostě kvůli jejich dostupnosti. Upozorňujeme však důrazně na to, že nemá-li záměna součástek zhoršit některý z udávaných technických parametrů, musí k ní dojít na základě dokonalé znalosti funkce nahrazované součástky. Jedině tak budeme schopni náhradní součástku vytypovat správně a záměna se škodlivě neprojeví na funkci přístroje. U náhradních součástek musíme kromě elektrických parametrů sledovat též mechanické specifikace (především rozměry, někdy i váhu a jiné), neboť odlišnosti tohoto druhu mohou zvláště při stěsnané montáži činit značné potíže. Určité problémy působí i přizpůsobování náhradní součásti k desce s plošnými spoji, vytvořené pro součástku jiného tvaru nebo rozměru. Konečně ani po estetické stránce nebývá vždy výsledek náhrady uspokojivý. Ideální podmínky zůstanou zachovány tehdy, použijeme-li ke stavbě doporučené součástky, s nimiž bylo zapojení (a také deska s plošnými spoji a mechanická konstrukce) navrženo a s nimiž také bylo odzkoušeno.

Číslicový multimetr je poměrně složitý přístroj, vyžadující značné náklady na pořízení potřebných součástek. Rovněž musíme počítat s tím, že jeho stavba bude trvat mnohem déle než stavba obvodově jednoduššího přístroje (jako např. nf generátor nebo stabilizovaný zdroj). Stejně tak se zvyšují i nároky na čistotu a jakost pájení a konečně i na vybavení dílny radioamatéra, který se pro stavbu multimetru rozhodne. Chtěli bychom proto všem zájemcům doporučit, aby nejdříve celý popis konstrukce řádně prostudovali a potom zvážili, zda budou moci splnit všechny požadavky na stavbu a „dotáhnout" stavbu multimetru do úspěšného konce. Neodpustitelným požadavkem jsou solidní znalosti oborů elektroniky, které se v zapojení vyskytují (číslicové obvody, technika zapojení operačních zesilovačů apod.) jako předpoklad pro pochopení funkce všech obvodů multimetru. Z tohoto důvodu nemůžeme doporučit začínajícím radioamatérům, aby se dostavby pustili sami, bez pomoci zkušenějších kolegů, i kdyby je možnost získat tento užitečný přístroj lákala sebevíc.

Práci na stavbě číslicového multimetru zahájíme obstaráním všech potřebných součástek. Doporučujeme předem kontrolovat jejich jakost, buď změřením (u odporů a kondenzátorů), nebo zkouškou funkce (u polovodičů, především u číslicových a lineárních integrovaných obvodů). Tato práce zabírá poměrně dost času a z nedočkavosti se většinou přehlíží. Na druhé straně však často hodně času ušetří (odhalení špatného kondenzátoru může být někdy velmi obtížné), v jiném případě se zase takto můžeme vyhnout nepříjemné práci spojené s vyjímáním vadného integrovaného obvodu z desky s oboustrannými plošnými spoji. Ten, kdo to někdy zkusil (s obyčejnou páječkou), ví, jak deprimující je pohled na poničené plošné spoje a jak nepěkné jsou opravy drátěnými spojkami. U desek s plošnými spoji pečlivě zkontrolujeme jakost spojů, neboť i nepatrná trhlinka ve spoji může způsobit mnoho starostí, zvláště tehdy, bude-li skryta pod nějakou součástkou. Po zkontrolování desek s plošnými spoji můžeme vyvrtat všechny díry na obou deskách. Ještě předtím si však destičky ostříhneme na správný rozměr a všechny stříhané hrany zapilujeme jemným plochým pilníkem. Potom si v obou deskách uděláme obdélníkovité otvory pro síťový transformátor a v horní destičce ještě výřez v místě, kde budou po sesazení obou destiček přečnívat digitrony. Vrtat začneme vrtáčkem o ∅ 0,8 mm. Potom do sklíčidla upneme vrtáček o ∅ 1 mm a převrtáme ve spodní desce díry pro: odporové trimry, referenční diodu D_7, kondenzátory C_{16} a C_{17}, kondenzátory C_1 a C_8, všechny odpory řady TR 161, odpor R_{40} a odpory, z nichž je složen R_{37}. Ve druhé destičce převrtáme vrtáčkem o ∅ 1 mm díry pro propojovací konektory, svitkové kondenzátory C_{11}, C_{14}, C_{15}, dále díry pro odporový trimr P_4, pro odpory R_{75}, R_{84}, R_{85}, pro elektrolytické kondenzátory C_{22}, C_{23}, C_{26}, C_{27} a C_{28} a díry pro všechny diody a pro připojení vývodů ze síťového transformátoru. Potom do sklíčidla upneme vrtáček o ∅ 1,1 mm a ve spodní destičce převrtáme díry, do nichž přijdou zasunout kolíčky tlačítkové přepínací soupravy, odpor 8,2 MΩ, TR 164 (jeden z těch, z nichž je složen R_{37}) a nakonec ještě díry pro zasunutí propojovacích konektorů. V horní destičce převrtáme vrtáčkem o ∅ 1,1 mm díry pro vývod báze a emitoru T_{18}, pro odpor R_{29} a díry pro tlačítkovou přepínací soupravu. Dále použijeme vrták o ∅ 3,3 mm, vrtáme v obou deskách díry pro přišroubování síťového transformátoru a obou rozpěrných hranolků a v horní desce díry pro přišroubování tranzistoru T_{19}.

Nakonec zbývá pouze vyvrtat díru pro kondenzátor C_{12} (vrták o ∅ 4,1 mm). Díry pro propojovací konektory a tlačítkové přepínací soupravy upravíme tak, abychom mohli tyto součástky s velkým počtem vývodů do desek zasunout bez velkých obtíží. Úprava spočívá v kuželovitém zahloubení příslušných děr ze strany součástek vrtákem o ∅ asi 3 mm, jehož hrot je broušen do ostrého úhlu (asi 70 až 90°). Zahloubení zasahuje asi do poloviny tloušťky desky (max. 0,8 mm).

Po vyvrtání děr připravíme desky k pájení. Příprava spočívá v jejich důkladném očištění, popřípadě můžeme jejich povrch opatřit vhodným ochranným nátěrem, který však nesmí ztěžovat pájení. Zcela postačí přetřít desky roztokem čisté kalafuny v lihu, pokud není k dispozici speciální přípravek pro tyto účely. Dbáme na to, aby použitý ochranný nátěr nezalepil vyvrtané otvory. Takto připravené desky můžeme začít osazovat součástkami. Do spodní desky nejprve osadíme a zapájíme všechny odpory. Samozřejmě zatím neosazujeme ty odpory, jejichž hodnotu budeme při nastavování měnit; jsou to R_{31}, R_{33}, R_{37} a R_{53}. Stejně postupujeme při osazování této desky kondenzátory. Po kondenzátorech přijdou na řadu jednoduché polovodiče – diody a tranzistory.

Tranzistory pájíme tak, aby spodní okraj pouzdra byl asi 5 až 6 mm nad destičkou. Ty součástky, které budou pájeny z horní strany destičky, můžeme nechat rovněž trochu výše nad deskou (přibližně 1 až 2 mm), budou se v této poloze lépe pájet. Tlačítkovou přepínací soupravu prohlédneme, nejsou-li některé kontaktní kolíčky zdeformovány, a potom ji namačkneme do příslušných děr. Mezi deskou a tělesy přepínačů z plastické hmoty má zůstat mezera asi 3 mm. Po zapájení soupravy tlačítkových přepínačů zapájíme dvě pomocné drátové spojky, spojující soupravu přepínačů s obvody na desce, osadíme do desky všechny integrované obvody (operační zesilovače pájíme tak, aby spodní okraj pouzdra byl asi 10 mm nad deskou). Pak přijdou na řadu digitrony. Digitrony se také nedomačkávají až na desku, mezi jejich spodním okrajem a deskou musí opět zůstat mezera asi 3 mm, umožňující natočit digitron kolem podélné osy (podle potřeby). Nakonec do desky namontujeme a zapájíme upravené propojovací konektory a přišroubujeme přední rozpěrné hranolky. Tím je montáž spodní desky multimetru skončena.

Osazování a montáž horní destičky s plošnými spoji je podstatně jednodušší, protože má spoje pouze z jedné strany a obsahuje podstatně méně obvodů a tedy i méně součástek. Po osazení a zapájení pasívních součástek (odporů a kondenzátorů) zapájíme stejným způsobem jako u spodní desky všechny diody, tranzistory a oba operační zesilovače. Zatím do desky neosazujeme pouze R_{16}, neboť jej budeme potřebovat při seřizování obvodů spodní desky. Z prostorových důvodů musíme diody D_{13} a D_{14} zapájet do desky ze strany spojů (při sesazení obou desek by si tyto diody vzájemně překážely s kondenzátory C_{16} a C_{17} integrátoru.

Výkonový tranzistor T_{18} zdroje pro napájení číslicových integrovaných obvodů upevníme na chladič a potom vložíme do desky a připevníme maticemi. Tím se zároveň propojí se spoji na desce kolektor tranzistoru T_{18}. Dále do desky vložíme propojovací konektory a přepínací soupravu, kterou opět propojíme s obvody na desce pomocnými drátovými spojkami. Tlačítkovou přepínací soupravu namačkneme do desky s plošnými spoji tak, aby mezi deskou a tělísky jednotlivých tlačítek z plastické hmoty zůstala mezera asi 2 mm. Jako poslední upevníme do desky síťový transformátor, jehož sekundární vinutí propojíme s odpovídajícími body na desce s plošnými spoji. Primární vinutí síťového transformátoru spojíme dvoužilovým vodičem se síťovým tlačítkovým spínačem. Tím je stavba elektronické části číslicového multimetru skončena a můžeme přistoupit k jeho oživování.

Oživení a kalibrace

Máme-li kompletně zapojeny všechny obvody číslicového multimetru, mohli bychom jej teoreticky připojením na síť uvést do provozu. Doporučujeme však všem, aby zkrotili svoji nedočkavost a postupovali při oživování podle následujícího popisu. Nejdříve si oživíme a překontrolujeme obvody v horní desce multimetru, neboť tam jsou umístěny napájecí obvody, které budeme potřebovat k oživování obvodů spodní desky.

Nejdříve odpojíme od emitorů T_{14} a T_{17} drátové spojky k zesilovačům Z_2 a Z_3. Potom překleneme kondenzátory C_{24} a C_{25} odpory 680 až 820 Ω/1 W, které představují přibližně stejně velkou zátěž zdroje ±18 V, jako obvody multimetru. Paralelně k C_{28} připojíme odpor 22 Ω/2 W, nahrazující provozní zatížení zdroje pro napájení číslicových integrovaných obvodů. Kondenzátor C_{29} přemostíme odporem 18 kΩ/2 W, nahrazující přibližně z hlediska zátěže všechny digitrony. Potom můžeme primární vinutí síťového transformátoru připojit k síti. Voltmetrem s odporem alespoň 1 kΩ/V (stačí tedy Avomet I) kontrolujeme napětí v jednotlivých bodech.

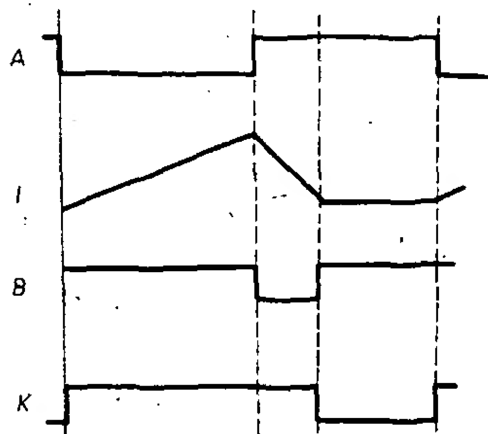
Nejdříve ověříme správnou velikost střídavého napětí na primárním vinutí a potom na všech vinutích sekundárních (podle údajů v navíjecím předpisu). Potom zkontrolujeme velikost napětí na filtračních kondenzátorech všech napáječů. Na kladném pólu C_{29} má být asi +180 V. Na kladném pólu kondenzátoru C_{22} má být asi +23 V, na záporném pólu C_{23} asi −23 V. Konečně na kladném pólu C_{26} bychom měli naměřit asi +9 V. Všechna napětí pochopitelně měříme proti společnému nulovému vodiči (např. záporný pól kondenzátoru C_{26}). Jsou-li všechna napětí v pořádku (odchylky až ±10 % nejsou na závadu), můžeme konstatovat, že jsou napáječe v pořádku, a přikročíme ke kontrole

stabilizátorů ±18 V a +5 V. Předtím však odpojíme transformátor od sítě a počkáme; až se přes pomocný odpor 18 kΩ vybije náboj C_{29}. Potom odpojíme anodu diody D_{18} od vývodu síťového transformátoru. Toto opatření nás chrání před úrazem napětím pro napájení digitronů při další manipulaci s touto deskou. Po opětovném zapojení primárního vinutí transformátoru k síti překontrolujeme napětí na výstupu stabilizátoru ± 18 V. Napětí na kondenzátorech C_{24} a C_{25} by se mělo pohybovat mezi 17,5 až 18 V. Na potřebnou velikost nastavíme napětí změnou odporů R_{81} a R_{82} (možná, že zcela odpadnou), případně úpravou R_{84}. Teprve po nastavení výstupního napětí tohoto zdroje můžeme přikročit ke kontrole funkce stabilizátoru napětí pro napájení číslicových integrovaných obvodů. Potřebujeme, aby na výstupu tohoto stabilizátoru (na kondenzátoru C_{28}) bylo napětí +5 V. Případné odchylky upravíme velmi jednoduše změnou R_{87} nebo R_{88} (nejlépe připojením vhodného odporu paralelně k některému z nich). Po seřízení tohoto stabilizátoru jsou zdroje připraveny k provozu.

K oživování dalších obvodů multimetru musíme připojit napájecí obvody k obvodům na spodní desce (za provozu jsou připojeny propojovacími konektory) ohebnými vodiči, dlouhými asi 40 až 50 cm. To proto, abychom se dostali k měřicím bodům, které by byly při složení obou desek na sebe nepřístupné. Ideálním řešením (poněkud pracným) je zhotovit dva kusy propojovacích šňůr, které by měly na koncích vždy dvanáctipólovou zástrčku a dvanáctipólovou vidlici.

Použijeme-li vodiče, propojíme nejdříve z horní desky do spodní nulový a kladný pól zdroje napětí pro číslicové integrované obvody. Potom připojíme na vývod *11* integrovaného obvodu IO_{13} osciloskop a měřič kmitočtu. Na osciloskopu bychom měli vidět, že je v tomto bodě přítomen signál obdélníkovitého průběhu s amplitudou asi 3 až 3,5 V o kmitočtu 12,5 kHz. Máme-li k dispozici osciloskop s kalibrovanou časovou základnou, nemusíme měřič kmitočtu vůbec používat. S kondenzátorem C_8 o kapacitě 0,1 µF bude kmitočet asi 15 kHz. Žádaný kmitočet 12,5 kHz nastavíme připojením jednoho nebo dvou paralelních kondenzátorů (potřebná výsledná kapacita je asi 120 až 135 nF). Pro dolaďování použijeme kondenzátory s co nejmenším teplotním koeficientem, např. styroflexové. Zcela nevhodné jsou pro tento účel miniaturní keramické kondenzátory.

Po nastavení kmitočtu generátoru na předepsanou velikost překontrolujeme správnou činnost dekadických čítačů MH7490 a jedné poloviny obvodu MH7474 tak, že připojíme osciloskop na vývod *5* obvodu IO_9 (nebo na ten konec R_{69}, který je s tímto



Obr. 66. Průběhy napětí v obvodech multimetru

vývodem spojen – na schématu je to bod *A*). Signál, který zde musíme nalézt, má průběh *A* na obr. 66. Amplituda obdélníků je opět asi 3 až 3,5 V, perioda 160 ms, střída přesně 1 : 1. Tím je kontrola základní funkce číslicové části provedena, její další činnost je závislá na funkci převodníku *U/t*, s nímž je spojena čtyřmi signálovými cestami (A, B_1, B_2, K). Kdo by chtěl mít větší jistotu, může si ještě překontrolovat funkci obvodů pamětí a dekodérů spolu s digitrony tak, že odpojí ovládání paměti a vstup čítače od ostatních obvodů a přiváděním signálu logické úrovně a vhodného kmitočtu překontroluje činnost tohoto celého kompletu, zahrnujícího v sobě většinu z celkového počtu použitých číslicových integrovaných obvodů.

V dalším kroku budeme kontrolovat činnost celého zapojení číslicové části a celého převodníku *U/t*. Vstupní bod pro přivedení signálu do této části je na noži *12* propojovacího konektoru K_1. Tento bod uzemníme přes odpor 33 kΩ. Z horní desky s plošnými spoji si do spodní desky přivedeme napájecí napětí ± 18 V a jeho zemnicí vodič. V horním dílu zapojíme opět do desky diodu D_{18} a kladný pól kondenzátoru spojíme dobře izolovaným vodičem se společným bodem odporů, napájejících digitrony. Odpor R_{53} nahradíme provizorním zkratem. Po připojení přístroje k síti se musí rozsvítit digitrony a musí zobrazovat číslo, které se smí lišit od nuly jen na digitronu posledního řádu. „Znaménkový" digitron zatím nesvítí, neboť jeho okruhy jsou přerušeny. Odpojíme-li nyní pomocný odpor 33 kΩ od země a spojíme jej s napájecí větví +18 V, mělo by se na digitronech objevit číslo asi 500. Připojíme-li pomocný odpor 33 kΩ z větve +18 V na větev −18 V, mělo by být na digitronech opět číslo asi 500. Jestliže jsme při zkouškách dosáhli popsaných výsledků, můžeme počítat s tím, že funkce všech obvodů počínaje od bodu, do něhož jsme zapojili pomocný odpor, bude v pořádku. Bude výhodné, jestliže si už v tomto okamžiku zkalibrujeme rozsah a symetrii převodníku *U/t*, neboť to je bez obvodů vstupního zesilovače snazší. K tomu účelu použijeme odpor R_{46}, který zasuneme do konektoru K_1, a sice mezi nože *12* a *4*. Tím spojíme nůž *12* přes 15 kΩ se signálovou zemí. Běžec potenciometru P_3 nastavíme zhruba do středu odporové dráhy, do stejné polohy nastavíme i běžec P_8. Nůž *1* konektoru K_1 spojíme kouskem vodiče s nožem *9* téhož konektoru. Po připojení napájecího napětí by měly na všech digitronech svítit nuly a na „znaménkovém" digitronu by se měla střídavě rozsvěcet znaménka + a −.

K dalšímu seřizování potřebujeme měřicí přístroj odpovídající přesnosti. Konec odporu zasunutý do nože *4* konektoru K_1 z tohoto nože vytáhneme a připojíme ho na jeden pól nějakého zdroje stejnosměrného napětí menšího než 10 V (můžeme použít například dvě sériově spojené ploché baterie). Druhý pól zdroje připojíme na signálovou zem multimetru a paralelně k tomuto zdroji připojíme číslicový voltmetr (indikující alespoň tři řády). Odstraníme zkrat na místě R_{53} a místo něho zapojíme provizorně do obvodu nějaký proměnný odpor 2,2 kΩ. Po zapojení napájecího napětí se snažíme změnou tohoto odporu nastavit na digitronech přibližně stejné číslo, jaké je na displeji kontrolního voltmetru. Když toho dosáhneme, vyjmeme pomocný proměnný odpor, změříme ho a do destičky zapájíme odpovídající odpory z řady TR 151. Po opětovném zapojení nastavíme trimrem P_8 stejné údaje na obou displejích. Potom obrátíme polaritu zdroje zkušebního napětí. Pokud nebude údaj na displejích stejný jako v předchozím případě, nastavíme na nich trimrem P_3 číslo, ležící uprostřed obou údajů, získaných při jedné a druhé polaritě zkušebního napětí. Poté znovu trimrem P_8 sjednotíme údaj seřizovaného přístroje s údajem kontrolního voltmetru. Tím-

to seřízením jsme v podstatě zkalibrovali převodník *U/t*.

Odpor R_{46} nyní můžeme zapájet do patřičného místa v horní desce. Všechny propojovací dráty mezi horní a spodní deskou odstraníme, protože dále lze přístroj seřizovat v běžné sestavené poloze. Sesadíme tedy obě desky dohromady a začneme se seřizováním zbývajících obvodů analogové části multimetru. Po sesazení desek propojíme kouskem izolovaného vodiče z horní desky do spodní napájecí napětí digitronů. K sestavě připevníme pro lepší manipulaci i čelní panel, protože v něm jsou tlačítka přepínacích souprav vedena a jsou na něm připevněny vstupní zdířky. Vstupní zdířky propojíme izolovanými vodiči s příslušnými body na spodní desce s plošnými spoji. Multimetr připojíme k síti a zapneme jej pro měření stejnosměrného napětí, rozsah nastavíme na 1 V. Nejdříve vykompenzujeme vstupní napěťovou nesymetrii a vstupní proud zesilovače Z_1. Vstupní zdířku pro měření napětí spojíme se zemnicí zdířkou a odporovým trimrem P_6 nastavíme na digitronech nuly na všech řádech. Potom místo zkratu zapojíme mezi vstupní zdířky větší odpor (např. 10 MΩ), místo R_{47} zapojíme odporový trimr asi 150 kΩ. Trimr P_5 nastavíme asi do středu odporové dráhy a běžec pomocného trimru nastavíme tak, aby na displeji bylo číslo co nejbližší nule. Potom pomocný trimr odpojíme, změříme a do desky zapájíme odpovídající odpor. Nakonec znovu nastavíme trimrem P_5 údaj na displeji co nejbližší nule. Je-li mezi vstupními zdířkami zapojen odpor 1 MΩ, potom každý bit znamená 1 nA vstupního proudu. Uvedenou metodou lze vstupní proud zmenšit až na úroveň stovek pikoampérů.

Dále nastavíme správné zesílení vstupního zesilovače. Vstupní zesilovač má zesílení buď 1 nebo 10. Zesílení 1 se nenastavuje, neboť má-li mít zesilovač zesílení 1 (rozsah 10 V až 1000 V), pracuje jako sledovač, u něhož se přenos odchyluje od jedničky až někde na pátém řádu. Zesílení 10 (na rozsazích 1 a 100) je dáno poměrem odporů ve zpětné vazbě. Pro správné zkalibrování budeme opět potřebovat nějaký přesný digitální voltmetr a zdroj proměnného stejnosměrného napětí. Nejdříve si přepneme oba voltmetry na rozsah 10 V a pomocný zdroj napětí nastavíme asi na 9 až 9,8 V. Údaje obou voltmetrů (DMM 1000 i kontrolního) by se měly shodovat, protože jsme si řekli, že přenos vstupního zesilovače je přesně jednotkový a další obvody jsme již kalibrovali. Kdyby se snad údaje obou voltmetrů přece jen lišily, opravíme tento rozdíl znovu trimrem P_8. Obrácením polarity zkušebního zdroje překontrolujeme správnost měření i pro napětí opačné polarity, případné odchylky odstraníme opět trimrem P_9. Po dosažení správné funkce na tomto rozsahu zmenšíme napětí zkušebního zdroje těsně pod 1 V, přepneme oba voltmetry na rozsah 1 V a tentokrát se snažíme dosáhnout souhlasu v údajích obou přístrojů nastavením P_7. Po tomto nastavení zbývá zkalibrovat vstupní dělič. K tomu potřebujeme zdroj napětí menšího než 100 V. Přepneme opět oba přístroje na příslušné rozsahy a správného údaje kaliborovaného multimetru se snažíme dosáhnout výběrem vhodného odporu R_{37} (obr. 62).

Popsanou operací skončilo seřizování obvodů pro měření stejnosměrných napětí. Přesnost při měření střídavých napětí zajistíme kmitočtovou kompenzací vstupního děliče a nastavením správného činitele přenosu převodníku střídavého napětí na stejnosměrné napětí (musí být přesně jedna). Správnou velikost přenosu nastavíme trimrem P_4. Zkušební napětí by mělo mít kmitočet asi 100 Hz (pozor na rušení síťovým kmitočtem) a velikost necelých 10 V na příslušném rozsahu. Zkušební napětí současně kontrolujeme, ji-

ným přesným voltmetrem. Přímá kmitočtová kompenzace vstupního děliče je poněkud problematická, protože nf generátory s výstupním napětím kolem 100 V nejsou běžné. Proto doporučujeme známou metodu kompenzace, založenou na principu nastavení nezkresleného přenosu napětí obdélníkovitého průběhu.

Nakonec nám zbývá kalibrovat rozsahy pro měření odporů. První dva rozsahy (do 1 kΩ a do 10 kΩ) kalibrujeme nastavením trimru P_1 při připojení přesného odporu o hodnotě blízké hodnotě pro naplnění displeje. Další rozsahy kalibrujeme trimrem P_2. Postup kalibrace je podobný jako např. při kompenzaci vstupního proudu zesilovače Z_1. Oba trimry nastavíme do střední polohy a pomocnými trimry 470 Ω a 47 kΩ určíme nejdřív vhodné odpory R_{31} a R_{33} (budou záviset na vlastnostech Zenerovy diody D_5). Příslušné odpory R_{31} a R_{33} zapájíme do desky a trimry P_1 a P_2 kalibrujeme odporové rozsahy podle známých přesných odporů. Tím je seřízení celého číslicového multimetru skončeno a po vestavění do skříňky je přístroj připraven k použití.

Závěr

Zveřejnění konstrukce číslicového multimetru v AR sleduje dva hlavní cíle. V první řadě seznamuje podrobně čtenáře s problémy, které se při konstrukci měřicího přístroje tohoto typu nevyhnutelně dostaví, a uvádí příklady jejich racionálního řešení, vycházející z praktických zkušeností, získaných mnohaletou prací na vývoji měřicích přístrojů stejného charakteru.

Za druhé je amatérům (dostatečně vybaveným znalostmi a materiálními prostředky) poskytnuta možnost vybavit se poměrně dokonalým a velmi užitečným měřicím přístrojem, který umožní podstatně zkvalitnit práci při vývoji jiných zařízení.

I když autoři byli nuceni v celé řadě detailů sáhnout ke kompromisům, je možno konstatovat, že bylo dosaženo žádaných technických vlastností přístroje. Především je třeba ocenit mechanickou i elektrickou ucelenost konstrukce, velmi dobrou časovou stabilitu a nezávislost na změnách teploty a napájecího napětí (díky výborné stabilitě nebylo nutné použít jinak celkem obvyklý prvek k nastavení nuly).

Na závěr přejí autoři všem těm, kteří se rozhodnou pro stavbu DMM 1000, stoprocentní úspěch a spokojenost a nabízejí prostřednictvím redakce svoji pomoc při případných potížích.

Literatura

[1] *Weitz, B. A.:* DVM Accuracy: Usable vs Rated. Electronic Instr. Digest, č. 9/1969, str. 8 až 12.

[2] *Bakey, T.:* Digital Voltmeter Considerations. Instruments & Control Systems, č. 7/1968, str. 95 až 98.

[3] *Daley, F. D.:* Analog-to-digital conversion techniques. Electro-technology, č. 5/1967, str. 34 až 39.

Upozorňujeme čtenáře, že většinu pasívních součástí, potřebných ke stavbě multimetru, lze objednat na dobírku v pardubické prodejně TESLA (a to včetně přesných odporů). Součásti lze samozřejmě zakoupit i při osobní návštěvě.

Objednané součásti je však třeba při doručení převzít, neboť zpětné roztřiďování vrácených zásilek dělá prodejně neobyčejné potíže.

Seznam součástek

Odpory

(TR 151, není-li uvedeno jinak)

R_2, R_3, R_6	5,6 kΩ
R_4, R_9, R_{18}, R_{23}	22 kΩ
R_5, R_7, R_8	15 kΩ
R_{10}, R_{12}, R_{14}, R_{16}	1,5 kΩ
R_{11}, R_{13}, R_{15}, R_{17}, R_{26}	2,2 kΩ
R_{19}, R_{20}	150 Ω
R_{21}	390 Ω
R_{22}	1 kΩ
R_{24}	330 Ω
R_{25}	TR 112a, 33 Ω
R_{27}, R_{28}, R_{35}, R_{39}	TR 161, 20 kΩ
R_{29}	TR 153, 10 MΩ
R_{30}	TR 161, 1,8 kΩ
R_{31}	viz text
R_{32}	TR 161, 0,18 MΩ
R_{33}	viz text
R_{34}	10 kΩ
R_{36}	TR 161, 10 kΩ
R_{37}	viz text
R_{38}	3,3 kΩ
R_{40}	TR 153, 0,1 MΩ
R_{41}	TR 152, 10 kΩ
R_{42}	TR 152, 3,3 kΩ
R_{43}	5,6 kΩ
R_{44}	TR 161, 1,8 kΩ
R_{45}	22 kΩ
R_{46}	TR 161, 15 kΩ
R_{47}, R_{49}	viz text
R_{48}	TR 161, 1 kΩ
R_{50}	TR 161, 8,2 kΩ
R_{51}	TR 161, 4,7 kΩ
R_{52}, R_{57}	TR 161, 20 kΩ
R_{53}	viz text
R_{54}	TR 161, 30 kΩ
R_{55}	1,5 kΩ
R_{56}	10 kΩ
R_{58}, R_{59}	5,6 kΩ
R_{60}	3,3 kΩ
R_{61}, R_{62}	TR 161, 20 kΩ
R_{63}	15 kΩ
R_{64}	2,2 kΩ
R_{65}, R_{66}	TR 161, 10 kΩ
R_{67}	4,7 kΩ
R_{68}	470 Ω
R_{69}	2,2 kΩ
R_{70}	3,3 kΩ
R_{71}, R_{72}	680 Ω
R_{73}	TR 161, 680 Ω
R_{74}	TR 161, 100 kΩ
R_{75}, R_{76}	TR 144, 56 Ω
R_{77}, R_{80}	3,9 kΩ
R_{78}	100 kΩ
R_{79}	1,8 kΩ
R_{81}	18 kΩ
R_{82}	6,8 kΩ
R_{83}, R_{85}	viz text
R_{84}	12 kΩ
R_{86}	TR 635, 3,3 Ω
R_{87}	12 kΩ
R_{88}	6,8 kΩ

Odporové trimry

(vesměs TP 111)

P_1, P_7	220 Ω
P_2	15 kΩ
P_3	330 Ω
P_4	1 kΩ
P_5	22 kΩ
P_6	10 kΩ
P_8	470 Ω

Kondenzátory

(není-li uvedeno jinak, jde o keramické typy)

C_1	TE 981, 200 μF
C_2, C_7	1 nF
C_3, C_4, C_5	4,7 nF
C_6	2,2 nF
C_8	viz text
C_9, C_{10}	TE 984, 20 μF
C_{11}, C_{15}	TC 276, 0,1 μF
C_{12}	WK 701 05
C_{13}	TE 153, 10 μF
C_{14}	TC 180, 2 μF
C_{16a}, C_{16b}	TC 180, 2 μF
C_{17}	680 pF
C_{18}	4,7 nF
C_{19}	220 pF
C_{20}	2,2 p
C_{21}	1 pF
C_{22}, C_{23}	TE 986, 200 μF
C_{24}, C_{25}	TE 984, 20 μF
C_{26}	TE 984, 1000 μF
C_{27}	TE 981, 50 μF
C_{28}	TE 981, 200 μF
C_{29}	TE 992, 20 μF
C_{30} až C_{33}	TK 782, 0,1 μF

Diody

D_1 až D_4, D_8, D_9	KA206
D_5, D_{10}	KZ140
D_6	KA207
D_7	KZZ46
D_{11} až D_{14}, D_{16}, D_{17}	KY130/150
D_{15}	KZZ74
D_{18}	KY130/900

Tranzistory

T_1, T_2	KF504
T_3	KF524
T_4, T_5, T_{13}	KF517
T_6	KFY18
T_7, T_8	KC507
T_9 až T_{12}	KC509
T_{14}	KF508
T_{15}	KC507
T_{16}, T_{17}	KF517
T_{18}	KC509
T_{19}	KU611

Operační zesilovače

OZ_1	MAA741
OZ_2	MAA741
OZ_3	MAA741
OZ_4	MAA501
OZ_5	MAA501
OZ_6	MAA741

Digitrony

E_1	ZM1081 (LL561)
E_2 až E_4	ZM1080T

Číslicové integrované obvody

IO_1, IO_2, IO_3	MH74141
IO_4, IO_5, IO_6	MH7475
IO_7, IO_8, IO_9	MH7490
IO_{10}	MH7474
IO_{11}	MH7440
IO_{12}	MH7430
IO_{13}, IO_{14}, IO_{15}	MH7400

Ostatní součásti

$Př_{R1}$ až $Př_{R4}$	tlačítkové přepínače Isostat
$Př_{F1}$ až $Př_{F4}$	tlačítkové přepínače Isostat

[4] *Fricke, H. V.:* Weniger Storspannung an elektronischen Messgeräten. Elektronik č. 10/1967, str. 305 až 309.

[5] *Dance, J. B.:* Digital voltmeters. Industrial Electronics, č. 7/1965, str. 333 až 336.

[6] *Schmid, H.:* Digital meters for under 100 dollars. Electronics, 28. 11. 1966, str. 88 až 94.

[7] *Kay, B. G.:* Selecting the right digital voltmeter. Electronics, 4. 4. 1966, str. 84 až 90.

[8] *Lange, W. R.:* Digital-Analog, Analog-Digital Wandlung. R. Oldenbourg Verlag: München, Wien 1974.

[9] *Conelly, J. A.:* Analog integrated circuits. Wiley-Interscience: New York 1975.

[10] *Kime, R. C.:* The charge-balancing a-d converter: an alternative to dual-slope integration.

[11] *Jansen, D. J. G.:* Delta modulation in DVM design. IEEE Journal of Solid State Circuits, č. 6/1972, str. 503 až 506.

[12] *Dilatush, E.:* Low-cost DVMs-Meteoric Success. EDN č. 3/1968, str. 62 až 71.

[13] *Haas, P.; Knox D.:* Noise Rejection In An Integrating DVM. Instruments & Control Systems, č. 12/1966, str. 91 až 92.

[14] *Weitz, B. A.:* Digital multimeters-Types, Techniques and Tradeoffs. Electronic Instrument Digest, č. 8/1969, str. 34 až 42.

[15] *Weitz, B. A.:* Get the most out of your DVM. DANA Technical Paper, č. 1072, 1070.

[16] *Mirtes, B.:* Stejnosměrné zesilovače. SNTL: Praha 1965.

[17] *Widlar R. J.:* Compensating for a drift. Electronics, 5. 2. 1968, str. 90 až 93.

[18] Amatérské radio 5/76, str. 230.

POZOR!

Těsně před uzávěrkou jsme získali tuto informaci: prodejna TESLA v Pardubicích dává do prodeje kompletní sadu součástek pro stavbu multimetru (zatím se nedodává pouze *IO* MAA741, který je přislíben n. p. TESLA Rožnov na začátek roku 1977). Kompletní stavebnice stojí 4510 Kčs + cena desek s plošnými spoji, stavebnice bez integrovaných obvodů stojí 1540 Kčs + cena desek s plošnými spoji. Ve stavebnici je zahrnuta i cena digitronu se znaky, jichž má prodejna zatím na skladě asi 30 kusů.

UNIVERZÁLNÍ ČÍTAČ

RNDr. Miroslav Švestka, CSc., Jiří Zuska

Principy měření univerzálním čítačem

Mezi nejpřesnější patří ta stanovení velikostí různých veličin, která jsou založena na principu měření času, kmitočtu a periody. Umožňuje to skutečnost, že lze snadněji realizovat velmi přesné standardy (etalony) kmitočtu než standardy jiných veličin, i to, že metodika měření (porovnávání) je jednoduchá, především při využití možností současné elektroniky.

Rozvoj elektroniky a především rozmach výroby integrovaných obvodů (spojený ve světě s příznivým vývojem jejich cen) způsobil, že tato velmi přesná měření, která byla v minulosti výsadou pouze profesionálních laboratoří, se mohou používat i v radioamatérské praxi. K převážné většině těchto měření se využívá univerzálních čítačů, – přístrojů, v nichž se kmitočet, perioda, délka impulsu atd. měřeného signálu porovnává se standardním kmitočtem. Výsledná přesnost měření pak závisí především na přesnosti a stabilitě standardního kmitočtu.

Kmitočtové standardy

Na jakosti kmitočtových standardů závisí nejen přesnost některých laboratorních měření, ale především řešení různých problémů ve vědě i v praxi, jako jsou např. provoz vysílacích stanic (rozhlas, televize, různé navigační systémy atd.), astronomie, raketová technika a výzkum kosmického prostoru, udržování shodného světového času v různých místech světa atd. Proto je kmitočtovým standardům (etalonům) věnována patřičná pozornost.

Dlouhou dobu se běžně vystačilo se „standardy" kmitočtu (nebo času), jako byly různé kyvadlové hodiny nebo hodiny se setrvačníkem. Za největší přesnost se považovala přesnost na jednu sekundu, přičemž 1 s byla definována jako 86 400. díl doby potřebné k jednomu otočení Země, než se zjistilo (ovšem mnohem později), že se rychlost otáčení naší Země během roku pravidelně zrychluje a zpomaluje. Relativní odchylky od kmitočtu otáčení jsou asi $\pm 1 . 10^{-8}$ a navíc stejného řádu jsou i nepravidelné odchylky.

V naší amatérské praxi pro méně přesná měření vystačíme se standardy jako jsou kmitočet elektrické sítě, oscilátory *RC* a *LC* a elektromechanické oscilátory (např. ladičkové). Pro přesnější měření potřebujeme oscilátory řízené krystalem. Méně často již můžeme používat oscilátor s termostatovaným krystalem. Tím naše běžné možnosti končí. Zbývá nám pak ještě jediná možnost – využít některých vysílání etalonových kmitočtů a časových signálů.

Nejpřesnější ze současných kmitočtových standardů jsou kvantové generátory, které slouží jako prvotní etalony. Tak např. kmitočtový standard s césiovým paprskem 5062 C od firmy Hewlett-Packard má přesnost $\pm 3 . 10^{-11}$ v rozsahu teplot od −28 do +65 °C a je schopný transportu. Komerčně dostupné atomové hodiny dosahují přesnosti $\pm 7 . 10^{-12}$, což představuje odchylku ±1 s za minimálně 4530 roků. V laboratořích se běžně dosahuje u atomových kmitočtových standardů přesnosti $\pm 2 . 10^{-13}$.

V tab. 1 je přehled různých zdrojů signálů o určitém kmitočtu (popř. času) a jejich přesnost.

V univerzálních čítačích se užívají standardy kmitočtu s dlouhodobou stabilitou řádu 10^{-7} a lepší. Krátkodobá stabilita (po dobu sekund nebo minut) bývá o dva i více řádů lepší.

Měření kmitočtu signálu

Měřený signál je upraven vstupním zesilovačem tak, že je převeden na pravoúhlý signál s úrovněmi vhodnými pro další zpracování číslicovými obvody. Pro obvody TTL jsou to tyto úrovně:

úroveň log. 0 – pro vstupy 0 až 0,8 V, pro výstupy 0 až 0,4 V;

úroveň log. 1 – pro vstupy 2 až 5 V, pro výstupy 2,4 až 5 V.

Takto upravený signál je přiváděn po přesně určenou dobu na vstup dekadického čítače, tj. obvodu, který počítá v desítkové soustavě, kolik impulsů přišlo na jeho vstup. Je-li doba, po kterou impulsy počítáme (měřicí interval) rovna 1 s, je množství počítaných impulsů rovno právě kmitočtu vyjádřenému v Hz. Měřicí interval je dán periodou signálu odvozeného od vnitřního kmitočtového standardu dekadickým dělením. Blokové schéma přístroje pro měření kmitočtu f_x je na obr. 1. Kmitočet měřeného signálu můžeme před jeho vstupem do spínače snížit *m*krát děličem D_1.

Rozborem chyb při tomto principu měření se nebudeme podrobně zabývat, pouze uvedeme, že měření je zatíženo chybami, pocházejícími z:

a) časové nejistoty $\pm\tau$ při otvírání a zavírání spínače;

b) základní chyby čítačových metod ±1 jednotka nejnižšího řádu;

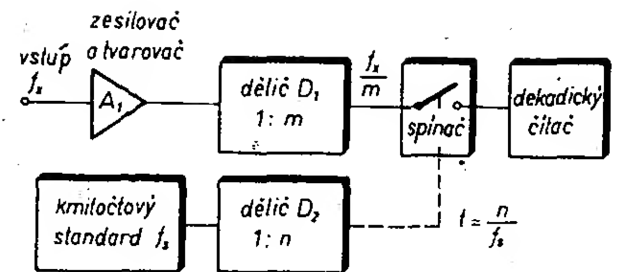
c) relativní odchylky kmitočtového standardu od jmenovitého kmitočtu $\pm\frac{\Delta f_s}{f_s}$.

Má-li měřicí interval délku $t = n/f_s$, pak relativní časová nejistota otvírání a zavírání spínače je $\pm\frac{\tau}{t}$. Základní chyba ±1 se uplatní $\left(\text{při konečném stavu dekadického čítače } t\frac{f_x}{m}\right)$ jako relativní chyba $\pm\frac{m}{tf_x}$. Pro celkovou relativní chybu změřeného kmitočtu f_x pak platí:

$$\pm\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm\frac{\tau}{t} \pm \frac{m}{tf_x} \pm \frac{\Delta f_s}{f_s} \qquad (1).$$

Tab. 1. Relativní přesnosti kmitočtových standardů (přibližné údaje)

Zdroj kmitočtu (času)	Relativní přesnost řádu
Kmitočet elektrické sítě	10^{-2}
Generátory *RC*	
Generátory *LC*	
Hodiny (se setrvačníkem)	
Elektromechanické oscilátory	10^{-3} až 10^{-4}
Oscilátory řízené krystalem	10^{-5} až 10^{-6}
Otáčení Země	10^{-7}
Oscilátory řízené krystalem v termostatu	10^{-8}, 10^{-9}, 10^{-10}
Kvantové generátory	10^{-11}, 10^{-12}, 10^{-13}



Obr. 1. Blokové zapojení přístroje pro měření kmitočtu

Časová nejistota τ závisí na vlastnostech signálu kmitočtového standardu a vlastnostech spínače. První člen $\frac{\tau}{t}$ rovnice (1) bývá zanedbatelný pro delší měřicí intervaly *t*. Podobně pro delší měřicí intervaly *t*, malé *m* a vyšší měřené kmitočty f_x (větší počet impulsů načítaných dekadickým čítačem) bývá i druhý člen zanedbatelný, takže výsledná přesnost měření kmitočtu f_x závisí pouze na přesnosti použitého kmitočtového standardu.

Měření poměru kmitočtů

Princip měření poměru kmitočtů je shodný s principem měření kmitočtu. Blokové schéma neuvádíme, protože by bylo obdobné obr. 1. Při tomto měření místo standardního kmitočtu f_s použijeme vnější signál o kmitočtu f_y, vůči kterému porovnáváme kmitočet f_x. Čím přesněji (na více míst) chceme měřit poměr f_x/f_y, tím nižší musí být kmitočet f_y, aby byl měřicí interval $t\left(t = \frac{1}{f_y}\right)$ co nejdelší. Pro zvětšení přesnosti můžeme kmitočet f_y signálu snížit děličem před jeho příchodem ke spínači.

Pro přesnost měření platí obdobné úvahy jako při měření kmitočtu jen s tím rozdílem, že místo standardního kmitočtu f_s vystupuje v úvahách kmitočet f_y. Měření poměru kmitočtů je však příkladem dvoukanálového měření, protože signál o kmitočtu f_y musí být zpracován vstupními obvody podobně jako signál o kmitočtu f_x.

Měření periody signálu

Uspořádání obvodu modifikujeme tak, že zesílený a tvarovaný vstupní signál (případně ještě dělený *m*krát děličem D_1) ovládá spínač (obr. 2). Spínač po celou dobu sepnutí *t* (tato doba je *m*násobkem periody T_x vstupního signálu) propouští do dekadického čítače signál o kmitočtu f_s/n, odvozený od kmitočtového standardu f_s.

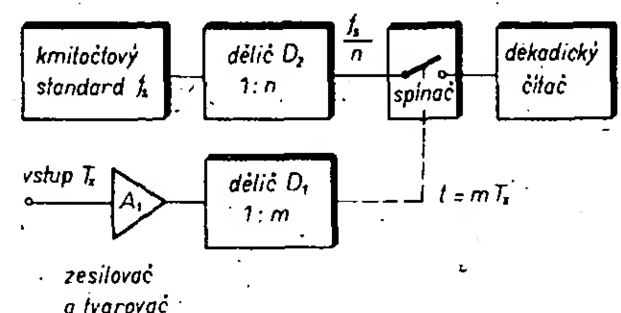
Výsledek měření je zkreslen stejnými chybami jako při měření kmitočtu:

a) časovou nejistotou $\pm\tau'$ při otvírání a zavírání spínače;

b) základní chybou čítačových metod ±1 jednotka nejnižšího řádu;

c) relativní odchylkou kmitočtového standardu od jmenovitého kmitočtu $\pm\frac{\Delta f_s}{f_s}$.

Časová nejistota τ' závisí v tomto případě na úrovni a kvalitě vstupního signálu (na velikosti nutného zesílení, na průběhu signálu a na velikosti rušivých složek) a vlastnostech spínače.



Obr. 2. Blokové zapojení přístroje pro měření periody

Pro relativní celkovou chybu uměřené periody T_x pak platí vztah:

$$\pm\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm\frac{\tau'}{t} \pm \frac{nf_x}{mf_s} \pm \frac{\Delta f_s}{f_s} \quad (2).$$

Hodnota prvního členu se zmenšuje s prodlužující se dobou měření t, tj. se zvětšujícím se počtem m period T_x měřeného signálu (s dělicím poměrem 1 : m děliče D_1). Druhý člen, příslušný základní chybě ± 1, se zmenšuje při zvětšujícím se m, avšak zvětšuje se pro rostoucí n (dělicí poměr 1 : n děliče D_2) a pro vyšší kmitočty f_x $\left(f_x = \frac{1}{T_x}\right)$ měřeného signálu. (Tato chyba by se samozřejmě zmenšovala i se zvyšujícím se standardním kmitočtem f_s, který však bývá obvykle neproměnný). Třetí člen opět závisí na odchylce standardního kmitočtu f_s od jmenovitého kmitočtu.

Rozborem rovnice (2) tedy můžeme zjistit, že se celková chyba měření periody T_x zmenšuje s prodlužující se dobou měření (nastaveným počtem period m) a se snižujícím se kmitočtem vstupního signálu. Celková chyba se pak blíží chybě kmitočtového standardu.

Ze srovnání principů měření kmitočtu a periody tedy vyplývá, že měření kmitočtu je vhodnější pro vstupní signály vysokofrekvenční a měření periody naopak pro signály nízkofrekvenční. Měření středních kmitočtů je pak zatíženo srovnatelnými chybami při obou způsobech měření.

Měření časového intervalu

Při měření časového intervalu používáme dva kanály pro vstup signálů, zapínajících a vypínajících měření (obr. 3). Tak např. měření časového intervalu může být ovládáno impulsy ze dvou různých obvodů, nebo na oba vstupy přivádíme stejný signál a zesilovače a tvarovače jsou nastaveny tak, že A_1 vyvolá sepnutí spínače při náběhové hraně vstupního impulsu a A_2 spínač při týlové hraně vypne. Takto změříme délku jednoho impulsu. Časovou jednotkou je perioda

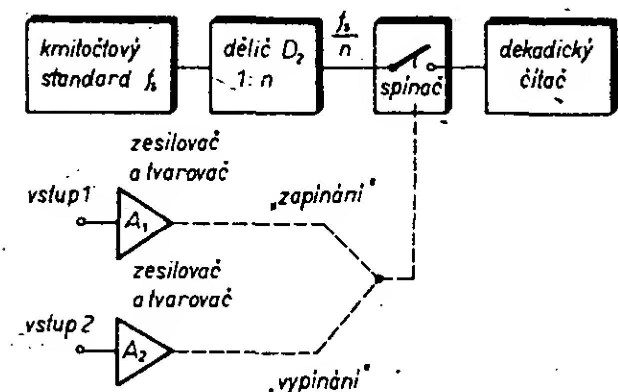
$$T = nT_s = \frac{n}{f_s},$$

odvozená od kmitočtového standardu f_s.

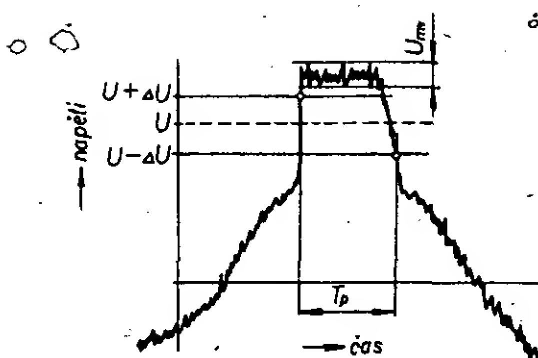
Pro chyby měření zde platí obdobné vztahy jako při měření periody.

Pomocné obvody a rozšíření možností univerzálních čítačů

Při měření kmitočtu, periody atd. se zpravidla používají stejné obvody, pouze jejich vzájemné propojení, a tedy i výsledná funkce přístroje, jsou různé. Z praktických i ekonomických důvodů bývá účelné doplnit tyto obvody dalšími přepínači a řídicími obvody, které umožní vytvořit přístroj s všestranným použitím – univerzální čítač. Pro plné využití jsou univerzální čítače vybavovány i speciálními obvody. Dále se zmíníme o některých vlastnostech obvodů a úpravách či doplňcích univerzálních čítačů.



Obr. 3. Blokové zapojení přístroje pro dvoukanálové měření časového intervalu



Obr. 4. Příklad měření doby T_p – části průběhu vstupního signálu nad spínací úrovní U s hysterezí tvarovacího obvodu 2ΔU. Velikost mezivrcholového napětí rušivé složky je U_{mv}

Vstupní obvody

Přístroje širšího použití nemohou být konstruovány tak, aby bylo nutno přivádět na vstup signály s úzkými tolerancemi napětí a průběhu. Proto i univerzální čítače jsou vybavovány vstupními obvody, které umožňují správnou funkci přístroje při nejrůznějších vstupních signálech.

Minimální vstupní napětí bývá zhruba 20 až 200 mV. Přístroje mívají vstupy pro stejnosměrný i střídavý signál se vstupními impedancemi zpravidla 1 MΩ a 50 nebo 75 Ω.

Vstupní obvody tvarují signál na průběh, vhodný pro další zpracování číslicovými prvky – na impulsy s dostatečně strmými náběhovými i týlovými hranami a s vhodnými úrovněmi. Současně musí tyto obvody umožňovat volbu té části průběhu vstupního signálu, kdy má začít nebo skončit měření, tj. té části, kdy se signál zvětšuje nebo naopak zmenšuje.

Každý signál obsahuje určitou rušivou složku (brum, šum, atd.), tvarovací obvody se proto většinou navrhují tak, že mají jistý stupeň hystereze, aby se při měření omezil vliv rušivých složek signálu. Tato hystereze $2\Delta U$ má být větší než mezivrcholové napětí U_{mv} rušivé složky, zvětšování hystereze však zpravidla vnáší do měření chybu, odpovídající např. časové nejistotě τ' při měření periody. Proto někdy bývá možno hysterezi nastavit. Na obr. 4 je příklad měření části periody T_p nad spínací úrovní U. Tvarovací obvod s hysterezí $2\Delta U (2\Delta U > U_{mv})$ spouští měření při úrovni $U + \Delta U$ a vypíná při $U - \Delta U$. Obvykle je spínací úroveň U rovna 0, vstupní obvody některých univerzálních čítačů umožňují však tuto úroveň měnit v širokých mezích, takže lze pak měřit např. dobu určité části periody.

Vstupní obvody obsahují též zesilovače, protože je nutno zajistit potřebné vstupní odpory a navíc zesílením vstupního signálu se dosáhne úrovně potřebné pro tvarovací obvody. Současně se zlepšuje strmost průběhu signálu, čímž se zmenšuje chyba měření způsobená časovou nejistotou spínání.

Rozšíření kmitočtového rozsahu

Univerzální čítače, které se v současné době vyrábějí, můžeme rozdělit do několika skupin podle kmitočtového rozsahu. V první skupině jsou přístroje, které měří zhruba do 10 MHz, v nichž se používají běžné obvody TTL. V druhé skupině jsou přístroje s kmitočtovým rozsahem zhruba do 100 MHz, u nichž se využívá Schottkyho rychlých obvodů TTL. V další skupině jsou používány obvody ECL, které umožňují měřit přímo i kmitočty vyšší než 1 GHz. V některých přístrojích této skupiny mají i vnitřní kmitočtové standardy vysoký kmitočet, např. 500 MHz. Tyto přístroje, tedy měří s časovým rozlišením 2 ns, případně s ještě kratším, při použití různých technik průměrování měření, interpolace atd. Velkou výhodou takových přístrojů je možnost využívat jejich velké přesnosti i při měření krátkých dob rychlých impulsů, period atd. U přístrojů s nižším standardním kmitočtem (1 nebo 10 MHz) se při přesných měřeních musí prodlužovat doba měření, a tak při měření proměnných vstupních signálů nedostáváme okamžité údaje, ale výsledky jsou průměry za dobu měření (např. tisíc period). Poslední skupinou univerzálních čítačů jsou pak přístroje, které na základě směšování fázově „zamknutých" obvodů (PLL) atd., umožňují měřit velmi přesně kmitočty přes 20 GHz.

Opakování měření

Na univerzálních čítačích je možno nastavovat kmitočet opakování měření. Je-li naměřený údaj registrován nebo zpracován on-line např. počítačem nebo stolním kalkulátorem, může být měření opakováno mnohokrát za vteřinu. Při běžném měření však musí být změřený údaj zobrazován po dobu dostatečnou k jeho opsání (nebo alespoň po dobu nutnou k určení trendu měření). Proto bývá možno nastavit dobu, po níž teprve začne další měření, v rozmezí desetin až desítek sekund.

Chceme-li měřit pouze občas a navíc právě ve zvoleném okamžiku, mívají čítače možnost spouštět ručně jednorázová měření (i dálkově z jiného přístroje, počítače atp.).

Využití signálů standardních kmitočtů

Univerzální čítače mají výstupy signálu standardního kmitočtu a zpravidla i kmitočtů, získaných dekadickým dělením. Pravoúhlý výstupní signál se stabilitou a přesností danou vnitřním standardem, můžeme využívat k jiným měřením, synchronizaci, k časové kalibraci atd.

Kontrola správnosti funkce

Přivádíme-li vnitřní signál standardního kmitočtu na vstup přístroje přepnutého na měření kmitočtu, zobrazuje se na displeji číslo n, tedy číslo, jímž je standardní kmitočet f_s dělen děličem D_2 (obr. 1). Protože n nabývá hodnot mocnin deseti (1, 10, 100 atd.), zobrazí se totéž číslo, je-li funkce univerzálního čítače správná, na displeji. Není to však kontrola přesnosti a stability zdroje standardního kmitočtu! Některé univerzální čítače (např. Tesla BM445E) mají tuto kontrolu přímo jako jednu polohu funkčního přepínače (vnitřní kontrola správnosti funkce). Jinak lze k vnější kontrole správnosti funkce využít vývodu dekadicky děleného signálu vnitřního kmitočtového standardu přivedením tohoto signálu zpět na vstup přístroje.

Čítač

Univerzální čítač lze samozřejmě používat jako čítač, tj. jako přístroj, který počítá impulsy (při tomto měření se zdroj signálu standardního kmitočtu nepoužívá). Začátek a konec měření se volí ručně pomocí tlačítek Start a Stop (i dálkově z jiných přístrojů).

Předvolba

Některé přístroje jsou doplněny i předvolbou toho stavu displeje, při němž se má zapnout, vypnout nebo přepnout určitý obvod, přístroj, spotřebič atd. Přitom univerzální čítač může pracovat jako čítač, měřič periody nebo časového intervalu. Předvolené číslo se nastavuje přepínači (někdy i dálkově elektricky, např. v kódu BCD).

Popisované funkce univerzálního čítače lze dosáhnout několika způsoby:

a) Použitím zvláštního obvodu pro porovnávání (komparaci) stavu obvodu dekadického čítače, s hodnotou předvoleného čísla;
b) použitím dekadického čítače, který v sobě zahrnuje obvod podle bodu a);
c) použitím dekadického čítače s možností nastavení.

K bodu *b*) chceme jako příklad uvést čtyřicetivývodový integrovaný obvod P-MOS MK50395N firmy Mostek, který v sobě zahrnuje šestidekádový vratný synchónní čítač s možností nastavování stavu, šestimístný (24bitový) komparátor s registrem pro uložení předvoleného čísla, strobovaný výstup v kódu BCD 8421 i v sedmisegmentovém kódu atd. Obvod je schopen zpracovávat vstupní signály obecného průběhu do kmitočtu 1 MHz.

Při použití integrovaných obvodů – dekadických čítačů s možností nastavení (např. s připraveným obvodem MH74192), můžeme požadovaného způsobu činnosti dosáhnout dvojím způsobem:

a) při čítání dekadického čítače vpřed se na počátku nastaví jednotlivé obvody do stavu odpovídajícího doplňku příslušné číslice daného řádu do 9 a do 10 v řádu jednotek. Např. předvolíme-li u šestidekádového čítače číslo 123, nastavíme před započetím čítání jednotlivé obvody do stavů 999877, takže po načítání 123 (proběhnutí 123. periody) se všechny dekadické čítače dostanou do stavu 0, čehož se využije k dalšímu zpracování;

b) čítá-li dekadický čítač zpět, nastavíme na počátku přímo předvolené číslo. Postupným odčítáním se dosáhne stavu 0 na všech řádech po průchodu předvoleného počtu impulsů (proběhnutí předvoleného počtu period).

Výstupní obvody

Novější univerzální čítače jsou vybavovány výstupními obvody, které umožňují jejich připojení k dalším přístrojům a zaručují potřebnou vzájemnou součinnost. Některé výstupy slouží pouze určitému způsobu použití (speciální tiskárna, dálkové řízení měření atd.). Stále více univerzálních čítačů však má výstupy, které umožňují využít těchto přístrojů v měřicích i řídicích soustavách spolu s malými počítači a kalkulátory (systém HP Interface Bus).

Digitální měření elektrických veličin

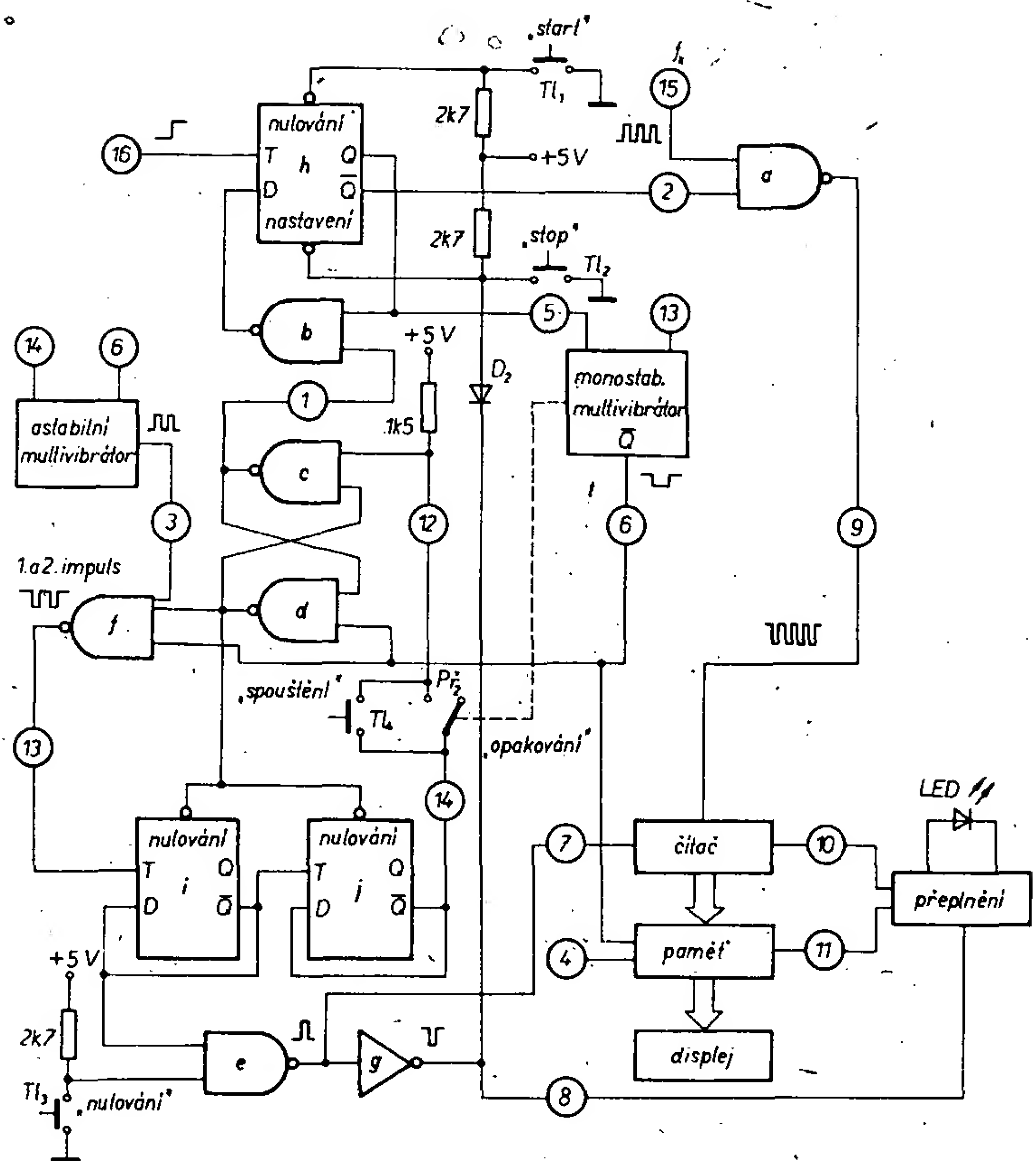
Některé univerzální čítače obsahují i obvody pro digitální měření napětí. Využívá se zde přesnosti měření kmitočtu a faktu, že lze poměrně snadno realizovat přesné převodníky napětí – kmitočet. Tyto převodníky jsou pomalé, pro běžná měření to však není na závadu, protože měření trvají jednu desetinu sekundy, nanejvýš jednu sekundu. Jejich předností jsou: nízké ceny (již od několika dolarů), dostatečná přesnost (odchylka od linearity dokonce pouze ±0,005 %, přesnost až ±0,01 % vstupního napětí, což odpovídá až 13bitovému binárnímu převodu) a možnost časové integrace vstupního signálu, tj. možnost získat velikost plochy, omezené křivkou proměnného vstupního napětí na jedné straně a časovou osou na straně druhé, pro vymezený časový interval.

Popis činnosti univerzálního čítače

Funkce řídicího obvodu

Řídicí obvod univerzálního čítače, který řídí pravidelné střídání jednotlivých kroků měřicího cyklu (vlastní měření, zobrazování výsledků a příprava dalšího měření), je sestaven z několika logických obvodů (obr. 5) a vychází ze zapojení [1].

Měří-li univerzální čítač např. kmitočet, připojí se vstupními obvody upravený signál f_x na vstup dvouvstupového hradla **a** (bod 15). Během vlastního měření, kdy je na druhém vstupu hradla **a** úroveň H (v dalším textu budeme shodně se zvyklostmi označo-



Obr. 5. Základní schéma řídicího obvodu univerzálního čítače s dalšími obvody

vat úroveň log. 1 písmenem H – high, vysoký a úroveň log. 0 písmenem L – low, nízký), procházejí impulsy f_x hradlem **a** a vstupují do dekadického čítače. Dobu vlastního měření, tj. dobu, po níž je otevřeno hradlo **a**, určuje signál, ovládající klopný obvod **h**. Výstup Q̄ tohoto klopného obvodu typu D otvírá nebo zavírá hradlo **a**. Je-li např. na výstupu Q̄ klopného obvodu **h** úroveň H po dobu 1 s, počet impulsů zaznamenaných čítačem je přímo roven kmitočtu, vyjádřenému v Hz.

Výklad činnosti popisovaného obvodu začneme ve fázi vlastního měření. Výstupy obvodu **h** mají úrovně Q̄ = H, Q = L. Protože na jednom vstupu dvouvstupového hradla **b** je úroveň L, je na vstupu D, připojeném k výstupu hradla **b**, úroveň H. Na vstup *16* se přivádějí hodinové impulsy, které určují začátek a konec časového intervalu, v němž se měří kmitočet. Koncem hodinového impulsu (přechodem úrovně z L na H), kterým se končí vlastní měření, změní se stav výstupů Q a Q̄ obvodu **h**. Hradlo **a** se uzavře a na vstupu monostabilního multivibrátoru se změní stav z L na H. Tím se monostabilní multivibrátor překlopí a na jeho výstupu Q̄ bude úroveň L po dobu určenou konstantou *RC* tohoto obvodu. Doba překlopení monostabilního obvodu prakticky určuje opakovací dobu měření, a tedy i kmitočet, s nímž se na displeji objevují další nové údaje. Tuto dobu bývá možno nastavit v rozmezí desetin až desítek sekund.

Klopný obvod R-S, tvořený hradly **c**, **d**, je vždy během vlastního měření ve stavu: výstup hradla **c** na úrovni H, výstup hradla **d** na úrovni L. Výstup hradla **d** je připojen též k jednomu vstupu třívstupového hradla **f** a k nulovacím vstupům dvou klopných obvodů typu D (**i**, **j**). Proto až do konce měřicího intervalu (do začátku překlopení monostabilního multivibrátoru) je třívstupové hradlo **f** uzavřeno a klopné obvody **i**, **j** jsou nulovány (na jejich výstupech Q je úroveň L). Výstup Q̄ klopného obvodu **j** je připojen ke vstupu hradla **c** přes přepínač *Př₂* (obr. 5). Na vstupech R-S klopného obvodu jsou tedy během vlastního měření úrovně H.

Překlopení monostabilního multivibrátoru způsobí i překlopení klopného obvodu R-S. Výstup hradla **c** má pak úroveň L, výstup hradla **d** úroveň H. Od tohoto okamžiku přestanou být klopné obvody **i**, **j** nulovány a na příslušném vstupu třívstupového hradla **f** se objeví úroveň **H**. Současně se však na dalším vstupu třívstupového hradla **f**, připojeném k výstupu Q̄ monostabilního obvodu, objeví úroveň **L**. Proto i nadále zůstává během celé doby překlopení monostabilního multivibrátoru třívstupové hradlo **f** uzavřeno a na jeho výstupu je úroveň H.

Výstup monostabilního multivibrátoru též ovládá paměť, která uchovává stav čítače (naměřený údaj) z předcházejícího měření. Stav čítače se přepíše do paměti během překlopení monostabilního multivibrátoru.

Po překlopení monostabilního multivibrátoru se na výstupu Q̄ objeví opět úroveň H. Stav klopného obvodu R-S se nezmění, a tak na obou vstupech třívstupového hradla **f** bude nyní úroveň H. Stav výstupu třívstupového hradla **f** bude určován proto třetím vstupem tohoto hradla; na tento vstup se přivádějí impulsy obdélníkovitého průběhu. Oba klopné obvody **i**, **j** mají vstupy D spojeny s výstupy Q̄, na nichž je před příchodem prvního impulsu úroveň H. Týlovou hranou prvního impulsu, který projde třívstupovým hradlem **f**, se změní stav klopného obvodu **i** (při změně úrovně z L na H na hodinovém vstupu T). Na jeho výstupu Q̄ se objeví úroveň L (a tedy i na hodinovém vstupu T dalšího klopného obvodu **j** a vstupu hradla **e**). Výstupem hradla **e** (úrovní H) je pak nulován čítač. Druhý vstup hradla **e** je připojen přes odpor k napájecímu napětí +5 V (úroveň H). Tlačítkem *Tl₃* můžeme tento vstup přechodně připojit na úroveň L, a tak kdykoli v průběhu vlastního měření toto měření ukončit, vynulovat současně dekády čítače (paměti pak uchovávají informace o čísle nula v kódu BCD 8421 a na displeji jsou zobrazeny samé nuly) a po překlopení monostabilního multivibrátoru je celý obvod připraven na nové měření.

V popisovaném přístroji byly všechny

Tab. 2. Fáze cyklu měření

Obvod	Vývod	Vlastní měření	Impuls–konec měření	Překlopení monostab. MV	Během 1. impulsu	Mezi 1. a 2. impulsem	Během 2. impulsu	Po 2. impulsu	Impuls–začátek měření	Po 2. impulsu ($Př_2$ rozpojen)
h	Q	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	$\overline{Q}$	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	D	1	1	1	1	1	1	0	0	1
	T	1	0	1	1	1	1	1	0	1
a	výstup	⊓⊓⊓	⊓⊓⊓	1	1	1	1	1	1	1
monostab. multivib.	$\overline{Q}$	1	1	0	1	1	1	1	1	1
c	výstup	1	1	0	0	0	0	1	1	0
d	výstup	0	0	1	1	1	1	0	0	1
i	T	1	1	1	0	1	0	1	1	1
	D = $\overline{Q}$	1	1	1	1	0	0	1	1	1
j	D = $\overline{Q}$	1	1	1	1	1	1	0→1	1	0
e	výstup	0	0	0	0	1	1	0	0	0
g	výstup	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Indikace fáze cyklu		*svítí*		*nesvítí*				*svítí slabě*		*nesvítí*

Poznámka: monostab. MV ...... monostabilní multivibrátor.

obvody navrženy tak, aby bylo možno použít pouze jednoduchá spínací tlačítka, protože rozpínací nebo přepínací tlačítka nejsou u nás běžně k dostání.

Současně s nulováním čítače se nastaví i klopný obvod **h** (výstup Q má úroveň H) impulsem úrovně **L** z výstupu invertoru **g.** Nebyl-li přerušen cyklus měření, klopný obvod **h** má shodný stav již od skončení předcházejícího vlastního měření.

Stlačením tlačítka Tl_1 nebo Tl_2 (obr. 5) se nezávisle na stavu logiky řídicího obvodu překlopí obvod **h** do příslušného stavu (výstup $\overline{Q}$ *má úroveň H po zmáčknutí tlačítka* Tl_1 a úroveň L po zmáčknutí Tl_2) a otevře se (nebo naopak uzavře) hradlo **a.** Ovládání činnosti těmito tlačítky se uplatní, pracuje-li přístroj jako čítač, při ručním měření časového intervalu atd.

Z výstupu invertoru **g** se též ovládá indikace přeplnění stavu čítače. Aby nebyl výstup invertoru **g** zatěžován při stlačení tlačítka Tl_2 a aby současně nebyla zpětně ovládána i indikace přeplnění, jsou vstup „nastavení" obvodu **h** spolu s tlačítkem Tl_2 připojeny k výstupu invertoru **g** přes diodu D_2 (germaniová dioda se zlatým hrotem, aby úbytek napětí na diodě v propustném směru byl co nejmenší a aby napětí na vstupu „nastavení" bylo při úrovni L menší než 0,7 V).

Jak bylo již řečeno, změní se po prvním impulsu stav klopného obvodu **i** tak, že na výstupu $\overline{Q}$ (a tedy i na hodinovém vstupu T klopného obvodu **j**) bude úroveň L. Průchodem druhého impulsu třívstupovým hradlem **f** se s týlovou hranou impulsu opět změní stav na hodinovém vstupu T klopného obvodu **i** z úrovně L na H a tento klopný obvod se překlopí do stavu Q = L, protože na vstupu D byla úroveň L. Změnou úrovně na výstupu $\overline{Q}$ klopného obvodu **i** z L na H se nyní překlopí klopný obvod **j**, který měl na vstupu D úroveň H.

Nulování dekád čítače a ovládání indikace přeplnění je tedy skončeno a z výstupu $\overline{Q}$ *klopného obvodu* **j** *přichází nyní úroveň* L na vstup dvouvstupového hradla **c** v klopném obvodu R-S (přepínač $Př_2$ je sepnut – vlastní měření se cyklicky opakuje). Tím se klopný obvod R-S překlopí a na výstupu dvouvstupového hradla **d** je úroveň L. Třívstupové hradlo **f** se uzavře a úroveň L na vstupech pro nulování klopných obvodů **i**, **j** klopné obvody vynuluje. Výstupy Q pak mají úroveň L. (Přesněji řečeno, překlopí se pouze klopný obvod **j**, protože druhý klopný obvod **i** se již v tomto stavu nachází). Na vstupu dvouvstupového hradla **c**, spojeném s výstupem $\overline{Q}$ klopného obvodu **j**, je tedy úroveň H. (Předpokládáme, že $Př_2$ je sepnut).

Stav klopného obvodu R-S, klopných obvodů **i**, **j** a třívstupového hradla **f** je tak shodný se stavem při vlastním měření.

U dvouvstupového hradla **b** je nyní úroveň H na vstupu připojeném k výstupu hradla **c**, i na vstupu spojeném s výstupem Q klopného obvodu **h.** Na vstupu D klopného obvodu **h** je úroveň L, hodinovým impulsem na vstupu T klopného obvodu **h** se tento obvod znovu překlopí a začne nový časový interval vlastního měření.

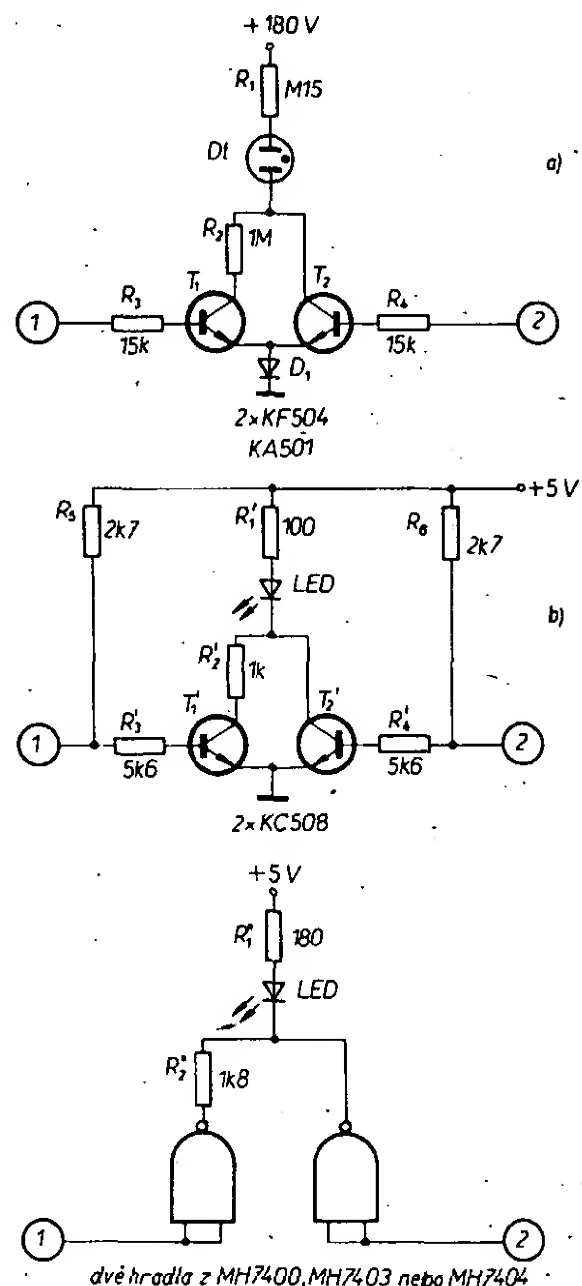
Popsali jsme jeden měřicí cyklus. V tab. 2 jsou úrovně v jednotlivých významných bodech obvodu během celého měřicího cyklu. Na dolním konci tabulky je vyznačena indikace fáze cyklu – údaj o tom, kdy a jak intenzívně svítí kontrolka, která nás informuje, probíhá-li příprava dalšího měření (včetně zpoždění začátku vlastního měření monostabilním multivibrátorem), je-li obvod připraven na další měření, ale nepřišel-li dosud na vstup T klopného obvodu **h** hodinový impuls spouštějící měření, nebo je-li již hradlo **a** otevřeno a probíhá-li měření.

Jednoduchý obvod, který tuto užitečnou informaci poskytuje, je na obr. 6. Jako indikační prvek je použita doutnavka nebo dioda LED. Žárovka není vhodná, protože nestačí indikovat krátké časové intervaly pro velkou tepelnou kapacitu vlákna. Ze zapojení na obr. 6c je zřejmé, že lze použít i nevyužité systémy logických prvků čítače – hradla (též s otevřeným kolektorem) a invertory. Obvod k indikaci fáze měřicího cyklu se připojuje k řídicímu obvodu v bodech *1* a *2* (obr. 5).

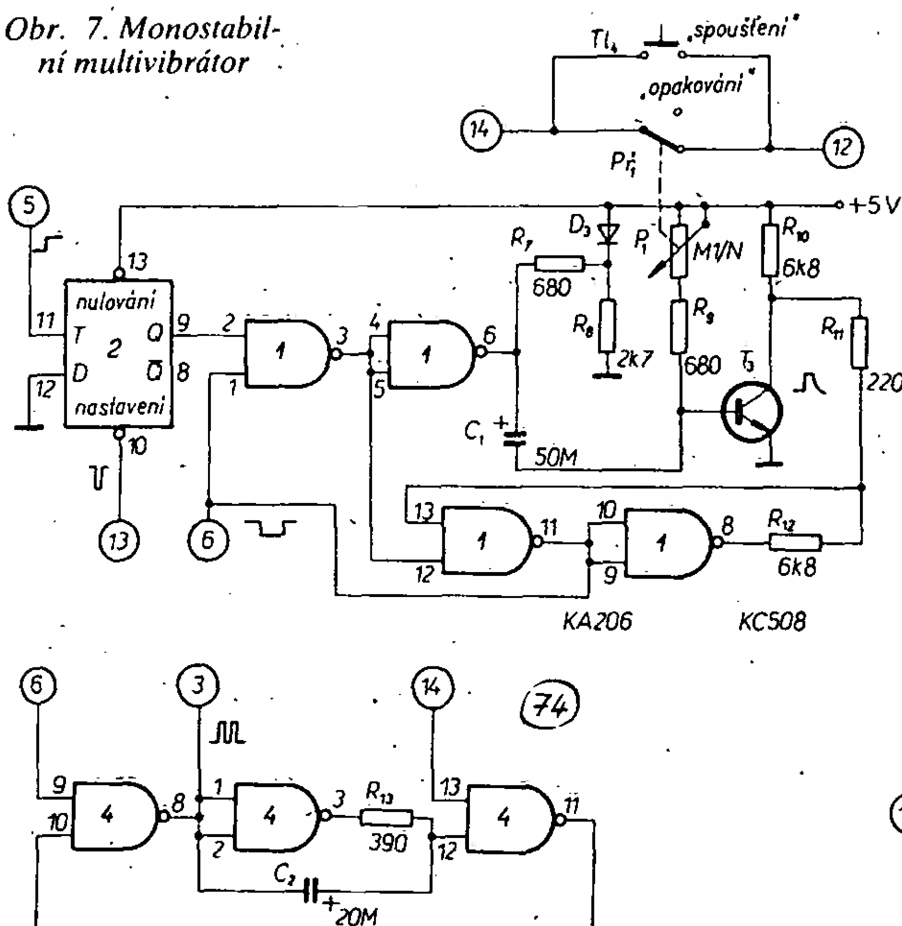
Monostabilní multivibrátor

Obvod monostabilního multivibrátoru může být realizován integrovaným obvodem např. SN74121 nebo z našich součástek podle obr. 7. Čtyři dvouvstupová hradla *I* s *tranzistorem* T_3 *tvoří vlastní monostabilní* multivibrátor. Změnou úrovně z H na L na vstupu dvouvstupového hradla *I* se změní i úroveň výstupu *6* tohoto hradla na L. K výstupu je připojen kondenzátor C_1. Tranzistor T_3, který byl do této doby otevřen, se uzavře a napětí na jeho kolektoru má úroveň H. Tento stav trvá do té doby, než se kondenzátor C_1 vybije přes potenciometr P_1 a odpor R_9. Tato doba, úměrná časové konstantě $(P_1 + R_9)C_1$, a tedy i nastavení potenciometru P_1, je přibližně 0,3 až 6 s. Na jejím konci se napětí na kolektoru tranzistoru T_3 pozvolna zmenšuje. Aby měl výstupní signál v bodu *6* dostatečně strmé hrany (pro zpracování v dalších číslicových obvodech), je zapojení doplněno Schmittovým klopným obvodem ze dvou dvouvstupových hradel *I*.

V obvodu monostabilního multivibrátoru je použit lineární potenciometr P_1 se spínačem ($Př_2$ z obr. 5). Potenciometr P_1 je zapojen tak, že v poloze, kdy je spínač rozpojen, odpor mezi začátkem odporové dráhy a sběračem je nejmenší. Doba překlopení monostabilního multivibrátoru je tedy velmi krátká (desetiny sekundy) a pak

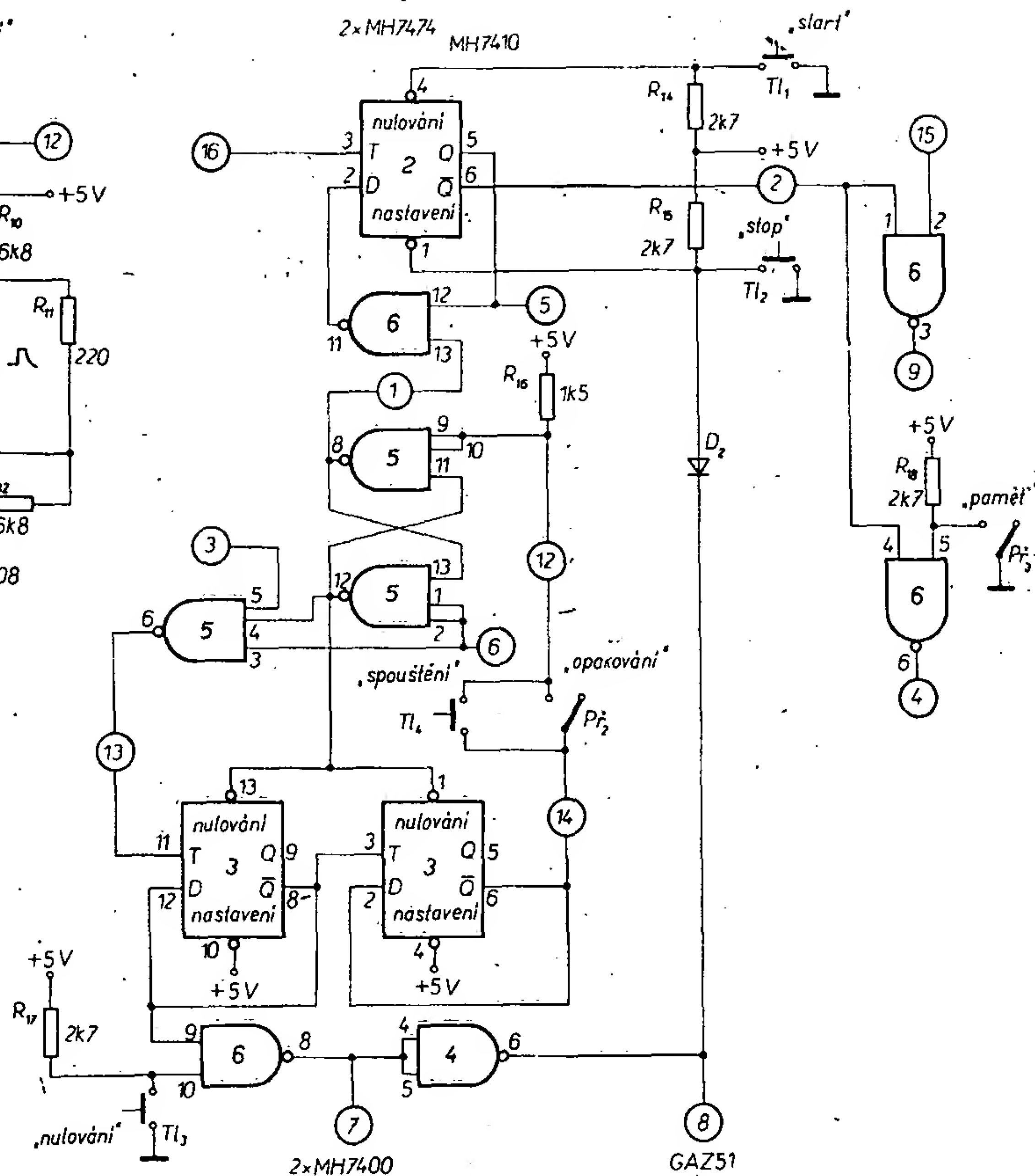


Obr. 6. Obvod pro indikaci fáze měřicího cyklu; a) obvod s doutnavkou, b), c) obvody s LED



Obr. 7. Monostabilní multivibrátor

Obr. 8. Klíčovaný astabilní multivibrátor



Obr. 9. Zapojení řídicího obvodu univerzálního čítače

ihned proběhne sekvence kroků, během níž se obvody připraví na další vlastní měření. Tato sekvence však neproběhne až do konce, je-li rozpojen spínač. Řídicí obvod zůstane ve stavu, popsaném v posledním sloupci tab. 2. Teprve krátkodobým stlačením tlačítka Tl_4 se obvod dostane do režimu, vyjádřeného stavy ve sloupci „Po 2. impulsu“ a může opět začít fáze vlastního měření. Takto lze ručně ovládat jednotlivé měřicí intervaly.

Je-li časový interval vlastního měření velmi krátký a probíhá-li měření opakovaně, nestačil by se vždy monostabilní multivibrátor plně zotavit po předchozím překlopení (kondenzátor C_1 by se nestačil vždy nabít přes diodu D_3 a odpor R_7 na plné napětí) a doba překlopení by se podstatně zkrátila. Proto musíme monostabilnímu obvodu zaručit dostatečnou dobu na zotavení. Vyloučíme-li možnost dlouhých (desetina sekundy a více) dob vlastního měření, zbývá pouze zaručit minimální dobu mezi koncem překlopení monostabilního multivibrátoru a dokončením přípravy k dalšímu měření (vynulování klopného obvodu **j**, obr. 5). Proto je před monostabilním multivibrátorem klopný obvod typu D (obvod *2*), který má během vlastního měření na výstupu Q úroveň H. Konec vlastního měření vyvolá na vstupu T tohoto klopného obvodu změnu úrovně z L na H, a tak i změnu úrovně z H na L na výstupu Q. Tím je aktivován monostabilní obvod. Po překlopení monostabilního obvodu, kdy se otevře trojvstupové hradlo **f**, první invertovaný impuls, který tímto hradlem projde, obnoví na výstupu Q klopného obvodu *2* opět úroveň H a kondenzátor C_1 se může nabít na požadované napětí.

Astabilní multivibrátor

Volbou délky periody astabilního multivibrátoru (řádově setiny sekundy) získáme dostatečně dlouhou dobu k zotavení monostabilního multivibrátoru.

Pro správnou funkci řídicího obvodu musí být astabilní multivibrátor klíčován. Musí začít svou periodou ihned po zpětném překlopení monostabilního multivibrátoru a po průchodu druhého impulsu trojvstupovým hradlem **f** (tj. po překlopení klopného obvodu **j**) musí generování impulsů skončit, neboť jinak při ručním spouštění měření (rozpojený spínač $Př_2$) by se klopné obvody **i**, **j** neustále překlápěly. Schéma klíčovaného astabilního multivibrátoru je na obr. 8.

Zapojení řídicího obvodu je na obr. 9. Dvouvstupové hradlo (část obvodu *6*), jehož výstup je označen jako bod *4*, slouží k ovládání paměti. Při rozpojeném přepínači $Př_3$ je v době vlastního měření v bodě *4* úroveň L. Sepnutím přepínače $Př_3$ (vstup *5* hradla *6* je připojen k L), je v bodě *4* trvale úroveň H.

Dekadický čítač, paměť, dekodér a displej

Obvody paměti spolu s dekadickým čítačem, dekodérem a šestimístným displejem jsou na obr. 10. Šest čtyřbitových střádačů *8* až *12* (6x MH7475) je ovládáno z výstupu dvou paralelně spojených systémů čtyřvstupových výkonových hradel *7* (MH7440). Výkonová hradla, každé se zatížitelností výstupu až 30 vstupy hradel, musí zde být použita proto, že každý hodinový vstup $H_{1,2}$, společný vždy pro dva systémy (střádače dvou bitů), zatěžuje výstup obvodu *7* proudem, odpovídajícím čtyřem vstupům hradel (tj. pro šest dekád celkem 48). Výkonová hradla *7* jsou řízena signálem z bodů *4* a *6*. Po dobu překlopení monostabilního multivibrátoru se tedy na vstupech *4* a *10* výkonových hradel *7* objeví úroveň L, a tedy na všech hodinových vstupech $H_{1,2}$ a $H_{3,4}$ úroveň H. Na výstupech Q_1 až Q_4 čtyřbitových střádačů *8* až *13* jsou pak úrovně shodné s úrovněmi na příslušných vstupech D_1 až D_4. Po překlopení monostabilního multivibrátoru výstupy Q již „nekopírují“ stavy vstupů D, ale zachovávají si (pamatují si) úrovně před přechodem H→L na vstupech $H_{1,2}$. Takto je uchován stav dekadických čítačů *14* až *19* (6x MH7490) i po jejich vynulování, nebo i v době dalšího vlastního měření. Dekodéry *20* až *25* pak tento zapamatovaný stav, vyjádřený v kódu BCD8421, změní na kód 1 z 10 a přímo ovládají digitrony E_1 až E_6.

Je-li přepínač $Př_3$ v sepnuté poloze, pak je na displeji zobrazován konečný stav dekadických čítačů (výsledek měření) až do skončení dalšího měření.

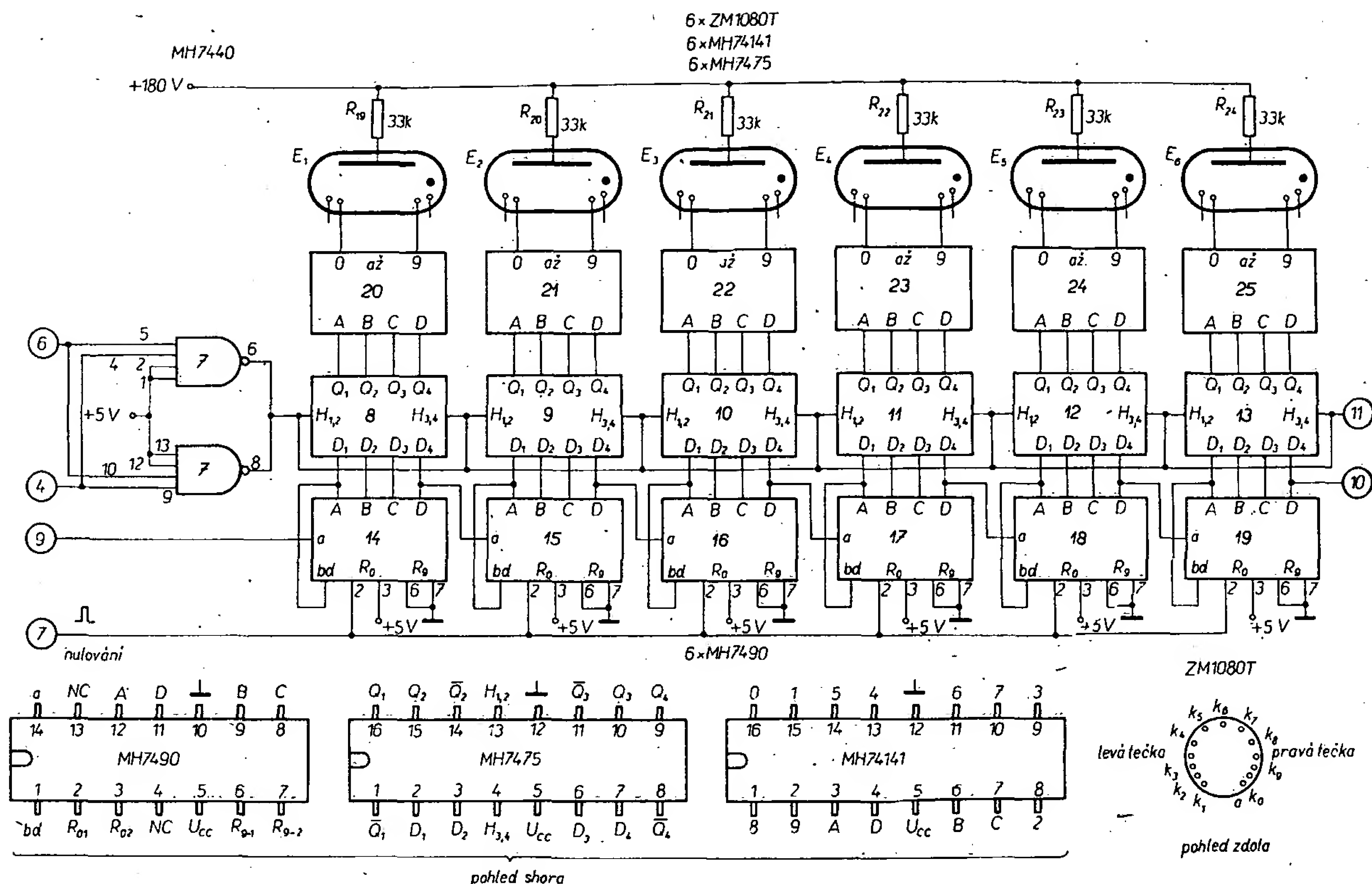
Rozpojený přepínač $Př_3$ pozměňuje činnost paměti a tedy i charakter zobrazování na displeji tak, že čtyřbitové střádače „kopírují“ stav čítačů nejen během překlopení monostabilního multivibrátoru, ale i během celého časového intervalu vlastního měření. Tak můžeme pozorovat během vlastního měření, jak narůstá stav dekadických čítačů s rychlostí úměrnou okamžitému kmitočtu impulsů do něj vstupujících. Tento režim je vhodný např. při měření časového intervalu, kdy můžeme během vlastního měření pozorovat narůstání času.

Z bodu *9* přichází signál na vstup prvního dekadického čítače *14*. Tento obvod pak udává měřený kmitočet na nejnižším řádu. Každý dekadický čítač poskytuje na svém výstupu signál s kmitočtem desetkrát nižším pro následující dekadický čítač. Jednotlivé dekadické čítače *14* až *19* jsou zapojeny tak, že signál je přiváděn na vstup *a* (číslo vývodu *14*) a výstupní signál je odebírán z výstupu D (vývod číslo *11*). Vně obvodu je vazba mezi systémem dekadického čítače, dělícím dvěma a dalším systémem čítače, dělícím pěti. Tato vazba je vytvořena spojem mezi výstupem A a vstupem *bd* (mezi vývody *12* a *1*). Takto zapojený dekadický čítač pracuje v kódu BCD 8421 a na výstupu je nesymetrický signál se střídou 1:4 (poměr doby úrovně H k době úrovně L). Na jednotlivých výstupech A, B, C a D (vývody číslo *12*, *9*, *8* a *11*) jsou, při stavu dekadického čítače odpovídajícím číslicím 0 až 9, úrovně podle pravdivostní tabulky (tab. 3). Nulovací impulsy z bodu *7* jsou přiváděny na nulovací vstup R_0 (vývod *2*); na druhém vstupu R_0 je úroveň H a na dvou vstupech R_9 je úroveň L.

Zapojení i funkce dekadického čítače s pamětí, dekodérem a digitronovým displejem jsou jednoduché, obvody byly již mnohokrát uvedeny v AR i RK, proto je jejich popis zestručněn.

Indikace přeplnění

Univerzální čítače je výhodné doplnit jednoduchým obvodem, který indikuje přeplně-



Obr. 10. Schéma šestimístného dekadického čítače, paměti, dekodéru a displeje

ní (overflow – „přetečení") dekadického čítače, tzn. stav, kdy všechny obvody šestimístného dekadického čítače přešly alespoň jednou přes číslo 999 999 na 000 000 a počítají dál. Indikace se, v souladu s režimem činnosti paměti, ovládá přepínačem $Př_3$ (obr. 9). Je-li tento přepínač sepnut, indikátor přeplnění se rozsvítí tehdy, když se mění číslice na displeji z devítek na nuly a indikátor svítí až do začátku dalšího vlastního měření. Není-li přepínač $Př_3$ sepnut, rozsvítí se indikátor v okamžiku, kdy se na displeji ukáže údaj nového měření, a to samozřejmě jen tehdy, byl-li během vlastního měření dekadický čítač přeplněn.

Doporučené dvě varianty obvodu k indikaci přeplnění jsou na obr. 11. V první variantě (obr. 11a) se používají pouze dva číslicové obvody (klopný obvod J-K typu MH7472 a čtyřbitový střádač MH7475), tato varianta je dražší. Ve variantě podle obr. 11b se kromě číslicových obvodů (dvouvstupová hradla MH7400) používá několik diskrétních součástek.

Při přechodu stavu dekadického čítače z 999 999 na 000 000 se na výstupu D dekadického čítače *19* (bod *10*) mění úroveň z H na L, což vyvolává překlopení klopného obvodu J-K nebo R-S a na výstupu Q se objeví úroveň H (u obvodu *27* na vývodu *8* a u obvodu *28* na vývodu *6*). Objeví-li se úroveň H v bodě *11*, „překopíruje" se úroveň ze vstupu D_1 obvodu *26* na výstup Q_1 (obr. 11a) nebo se překlopí klopný obvod R-S tvořený hradly *29* a na výstupu $\bar{Q}$ (vývod *6*) se obdobně objeví úroveň H (obr. 11b). Tak jsou v době, kdy má být indikováno přeplnění, v bodech *17* a *18* úrovně H a L.

Současně s vynulováním dekadických čítačů *14* až *19* se nuluje klopný obvod J-K nebo obvod R-S tvořený dvouvstupovými hradly *28* a na příslušných výstupech Q (u obvodu *27* vývod *8* a u klopného obvodu R-S vývod *6*) je znovu úroveň L. Na výstupech *17* a *18* se však úrovně nemění.

K světelné indikaci můžeme použít diody LED, doutnavky nebo žárovky. Tyto prvky jsou pak ovládány signály z bodu *17* nebo *18*. Na obr. 12 jsou zapojení indikátorů.

Volba způsobu měření

Předcházející výklad činnosti některých obvodů univerzálního čítače se netýkal možností využívat zapojení k dalším měřením kromě měření kmitočtu. Abychom mohli využít univerzálního čítače k měření:

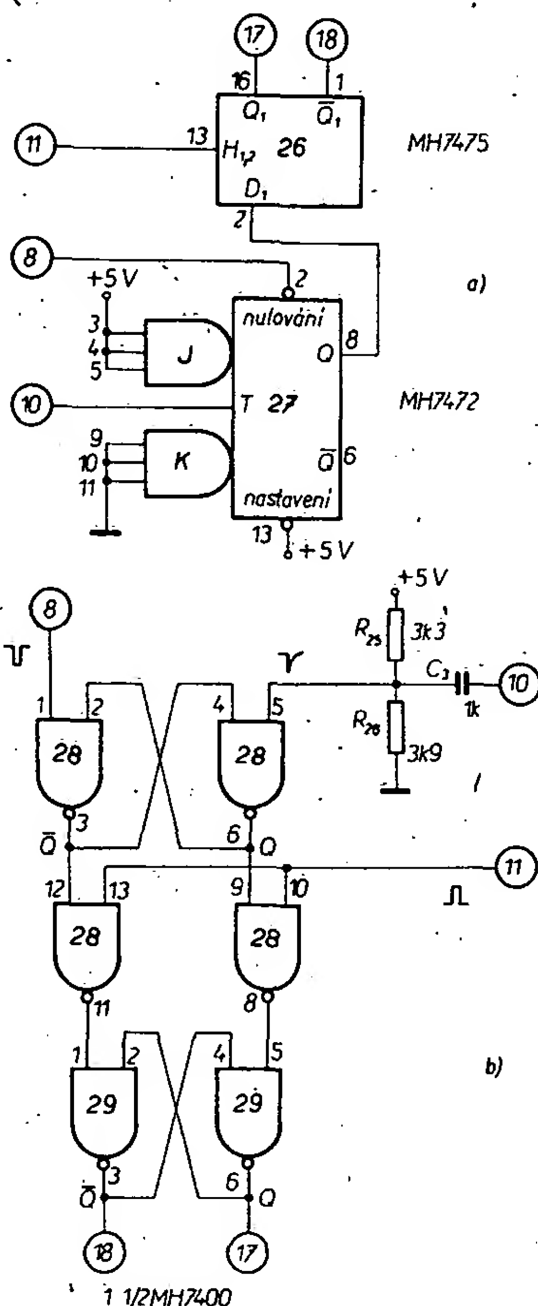
a) kmitočtu,
b) periody,
c) časového intervalu (dvoukanálově),
d) počítání impulsů (čítač),

musíme až dosud popsané zapojení doplnit obvodem pro volbu způsobu měření (obr. 13).

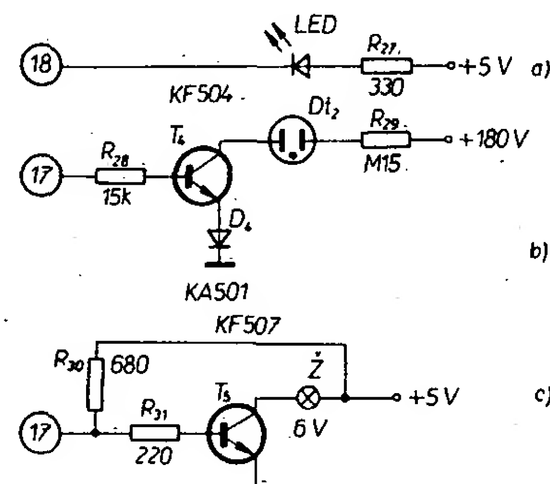
Druh měření volíme čtyřpólovým čtyřpolohovým přepínačem $Př_4$, který připojuje

Tab. 3. Úrovně na výstupech A, B, C a D dekadického čítače MH7490 pro číslice 0 až 9 (kód BCD 8421)

Číslice	D	C	B	A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H



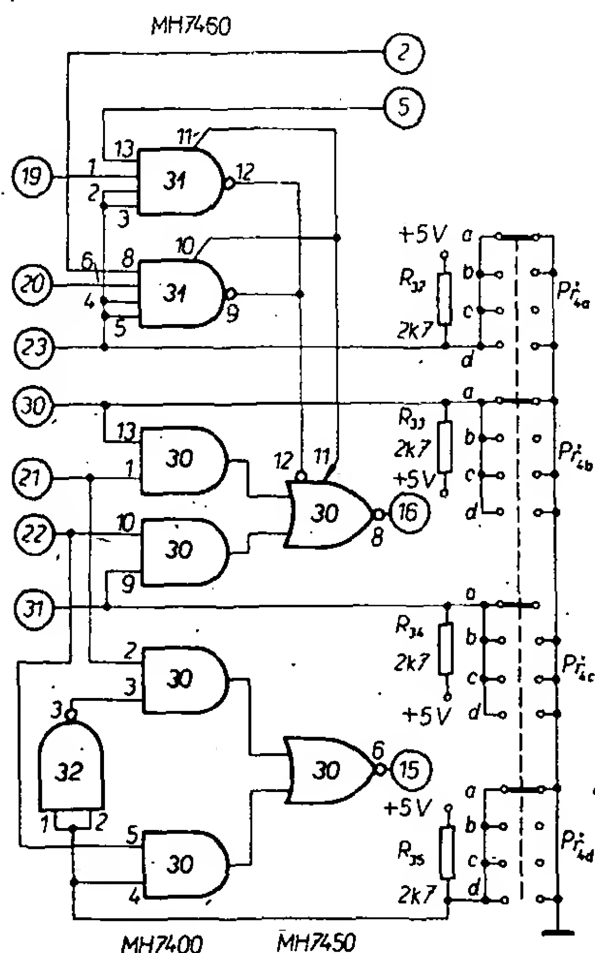
Obr. 11. Obvod pro indikaci přeplnění dekadického čítače. Dvě varianty provedení



Obr. 12. Světelná indikace přeplnění; a) diodou LED, b) doutnavkou, c) žárovkou

Tab. 4. Způsob měření a zapojení přepínače $Př_4$ v polohách a, b, c, d (● kontakty sepnuty)

Poloha	Způsob měření	$Př_{4a}$	$Př_{4b}$	$Př_{4c}$	$Př_{4d}$
a	měření kmitočtu	●	●		●
b	měření periody	●		●	
c	časový interval		●	●	
d	čítač	●	●	●	●



Obr. 13. Volba způsobu měření

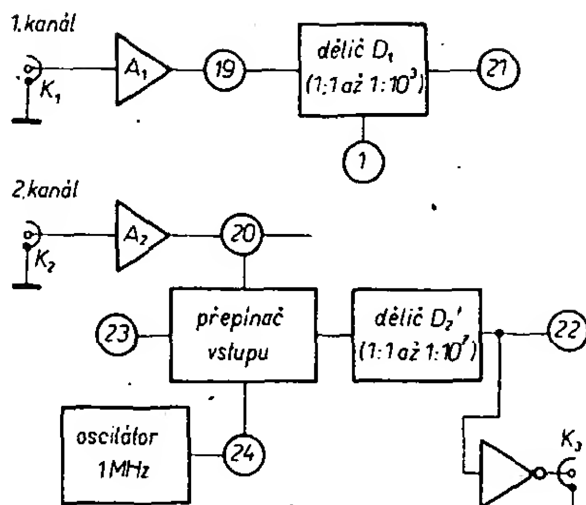
vstupní signály (měřený signál a vnitřní nebo vnější srovnávací signál) k bodům *15* a *16*. V tab. 4 je přehledně vyznačeno, které kontakty jsou v dané poloze $Př_4$ sepnuty.

V poloze a přepínače $Př_4$, kdy univerzální čítač měří kmitočet vstupního signálu, jsou v bodech *15* a *16* pouze invertované signály z bodů *21* a *22*. Jak dále zjistíme, signál z bodu *21*, přicházející na vstup hradla **a** (bod na *15*), je signál, jehož kmitočet měříme. Na vstupu *22* je pak signál vnitřního standardního kmitočtu, jehož perioda určuje dobu, po kterou je překlopen klopný obvod **h** otvírající hradlo **a** (obr. 5). Vstupní body *19* a *20* jsou odpojeny.

V poloze *b* $Př_4$ měříme periodu vstupního signálu přicházejícího z bodu *21* na vstup klopného obvodu **h**, tj. do bodu *16*. Po dobu periody měřeného signálu počítáme impulsy vnitřního standardního kmitočtu přicházejícího z bodu *22* na vstup hradla **a**, tj. do bodu *15*. Vstupní body *19* a *20* jsou odpojeny.

V poloze *c* $Př_4$ měříme časový interval dvoukanálově. Vnitřní signál standardního kmitočtu prochází z bodu *22* do bodu *15* na vstup hradla **a** (obr. 5). Do bodu *16* nyní přicházejí střídavě signály z bodů *19* a *20*. Před měřením časového intervalu, kdy výstup Q klopného obvodu **h** (bod *5*) má úroveň H, je k výstupu *16* připojen vstup *19*. Signál z kanálu připojeného k bodu *19* zahájí měřený interval, klopný obvod **h** se překlopí, komplementární úrovně v bodech *2* a *5* se prohodí a dále je k výstupu *16* připojen vstup *20*. Signál z druhého kanálu připojeného k bodu *20* překlopí klopný obvod **h** zpět, a tak zakončí měřený časový interval.

V poloze *d* $Př_4$ pracuje přístroj jako čítač. Začátek časového intervalu, během kterého čítáme impulsy vstupního signálu, je určen stlačením tlačítka „start" a konec určen tlačítkem „stop". Při tomto režimu je připojen signál z bodu *21* na výstup *15*. Ostatní vstupy *19*, *20* a *22* jsou blokovány a bod *16* má trvale úroveň H.



Obr. 14. Blokové schéma vstupní části univerzálního čítače

Vstupní část

Abychom objasnili, jaké signály jsou v bodech *19*, *20*, *21* a *22*, je na obr. 14 blokové schéma vstupní části univerzálního čítače.

Při všech jednokanálových měřeních používáme vždy pro zpracování měřeného signálu první kanál. Ze vstupního konektoru K_1 přichází signál do zesilovače A_1. Na výstupu zesilovače A_1 (bod *19*) je signál ve tvaru obdélníkovitých kmitů s logickými úrovněmi, jehož kmitočet může být dále dekadicky dělen až na jednu tisícinu (bod 21).

Při dvoukanálových měřeních se využívá též druhého kanálu se zesilovačem A_2. (Oba zesilovače A_1 i A_2 jsou shodné konstrukce.) Výstup zesilovače A_2 (bod *20*) je připojen k přepínači, sestavenému z logických obvodů. Tento přepínač přivádí signál z výstupu A_2 nebo z výstupu zdroje signálu standardního kmitočtu (z oscilátoru 1 MHz, řízeného krystalem) na vstup dekadického děliče D_2. Tento dělič dělí v poměru 1:1 až $1:10^7$.

K výstupu (bod *22*) je též připojen oddělovací invertor, na jehož výstupu je konektor K_3. Z tohoto konektoru, umístěného na předním panelu přístroje, můžeme odebírat signál základního kmitočtu vnitřního kmitočtového standardu a jeho podíly (tj. 1 MHz, 100 kHz, 10 kHz, 100 Hz, 10 Hz, 1 Hz a 0,1 Hz), nebo příslušný podíl kmitočtu z druhého kanálu.

Dekadický dělič D_1

Zapojení dekadického děliče D_1 je na obr. 15. K dělení jsou použity tři dekadické čítače MH7490, pracující v kódu BCD 8421.

Všechny tři dekadické čítače jsou nastavovány na stav, odpovídající číslici 9, impulsem úrovně L na vstupu *1*. Toto automatické nastavování, odvozené od funkce řídicího obvodu, je výhodné např. pro měření násobku periody vstupního signálu, kdy časový interval měření trvá jednotky, desítky nebo i více sekund. Bez uvedeného nastavování by bylo nutno čekat na začátek dalšího vlastního měření stejnou dobu, jako je doba vlastního měření.

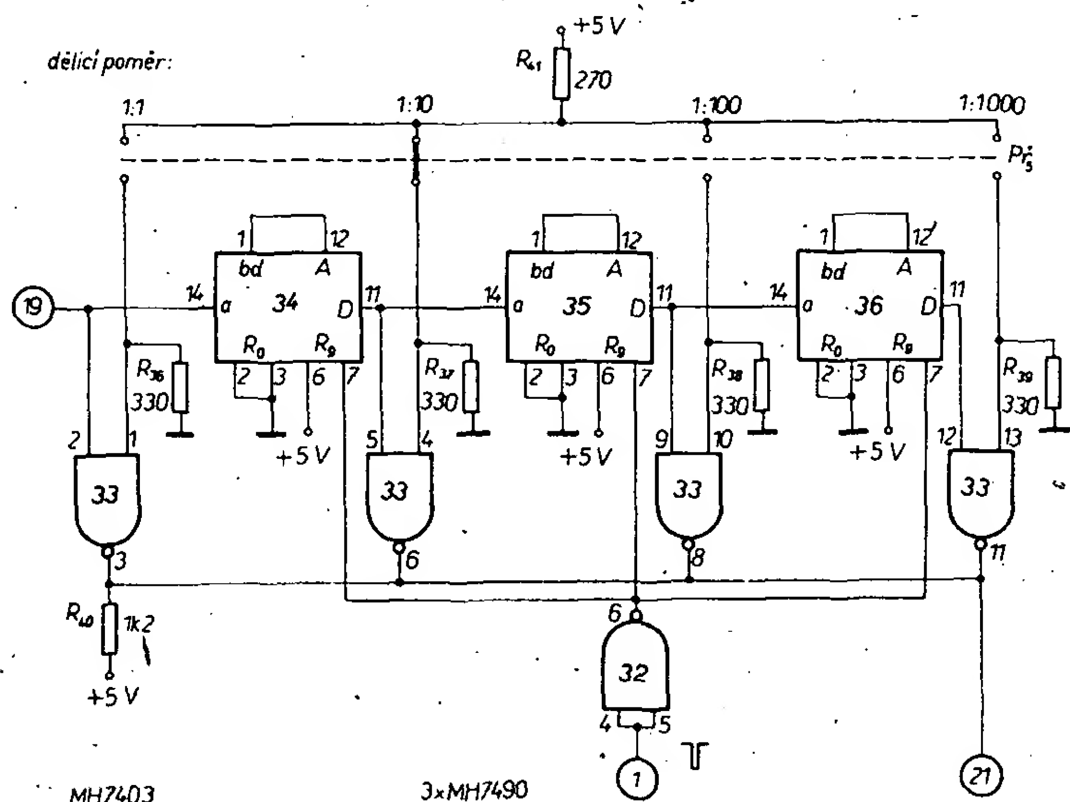
Nejlépe si to osvětlíme na příkladu. Měříme-li např. periodu síťového kmitočtu s co největší přesností, počítáme impulsy vnitřního nebo vnějšího kmitočtového standardu po dobu tisíce period síťového kmitočtu, tj. asi 20 sekund. I když je nastaven monostabilní multivibrátor tak, že další vlastní měření může začít např. 1 s po skončení předcházejícího měření (tj. za 1 s se odblokuje klopný obvod **h** (obr. 5) a kontrolka indikace fáze měřicího cyklu se slabě rozsvítí), vlastní měření se začne až za dalších 19 s. Je-li zapojeno automatické nastavování děliče, je po skončení přípravy vlastního měření dekadický dělič ve stavu, kdy jediným dalším impulsem na vstupu *19* může přejít do stavu 000. Proto v dříve uváděném příkladu se po 1 s odblokuje klopný obvod **h**, přeruší se nastavování děliče D_1 a slabě se rozsvítí kontrolka indikace fáze měřicího cyklu. Po jedné periodě vstupního měřeného signálu (tj. za 20 ms) se pak rozsvítí kontrolka naplno a začíná vlastní měření.

Při měření vysokofrekvenčního signálu bychom si horní hranici měřitelného kmitočtu dosti snížili použitím přepínače s dlouhými přívody (kdybychom chtěli přepínat přímo signál na výstupu z děliče). Proto přepínač dělicího poměru $Př_5$ ovládá dvouvstupová hradla *33* s otevřeným kolektorem (MH7403), která přepínají signál. Hradlo, u něhož se příslušný vstup připojí přepínačem $Př_5$ přes odpor 270 Ω (odpor R_{41}) k +5 V, je otevřené, ostatní zůstávají zavřená. Funkce děliče není ovlivněna délkou přívodů k přepínači $Př_5$.

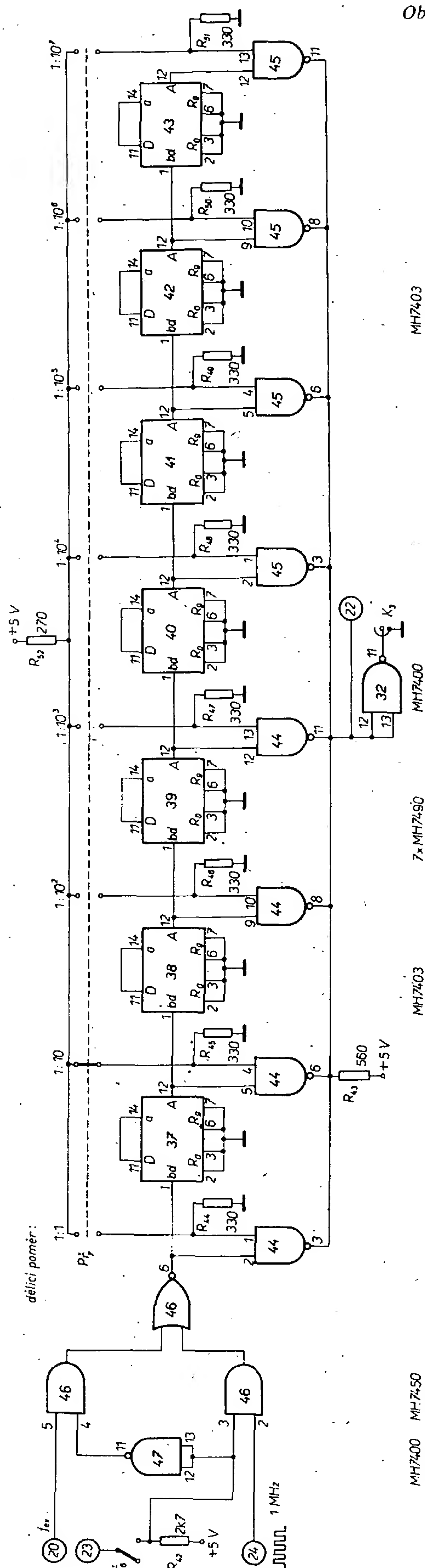
Dekadický dělič D_2

Dekadický dělič D_2 je podobný děliči D_1, liší se pouze tím, že je složen ze sedmi dekadických čítačů *37* až *43* (7× MH7490), zapojených jako symetrické děliče deseti. Tyto děliče nejsou ovládány (nastavovány nebo nulovány). Zapojení děliče D_2 a přepínače vstupu je na obr. 16.

Z výstupu (bod *22*) i z konektoru K_3 vychází symetrický signál. Přepínačem $Př_7$ nastavujeme dělicí poměr v rozsahu 1:1 až $1:10^7$. O tom, přichází-li na vstup dekadické-

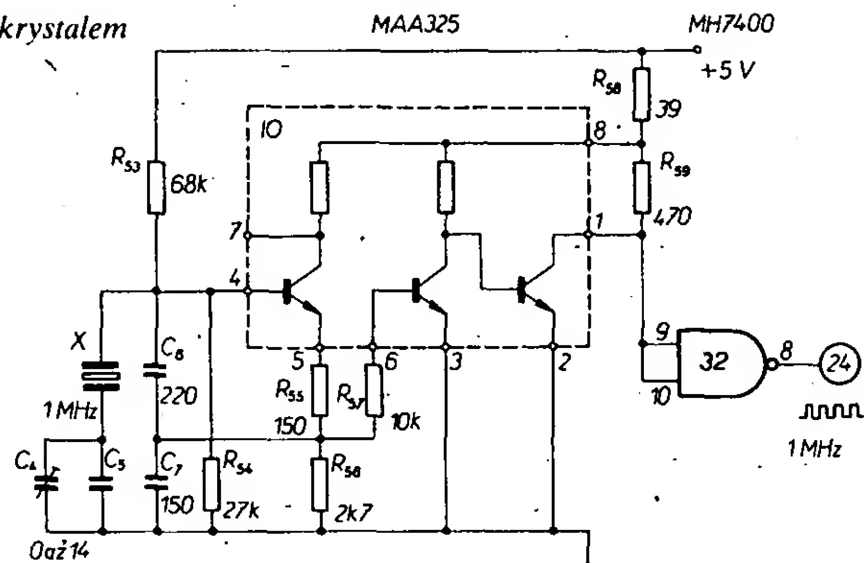


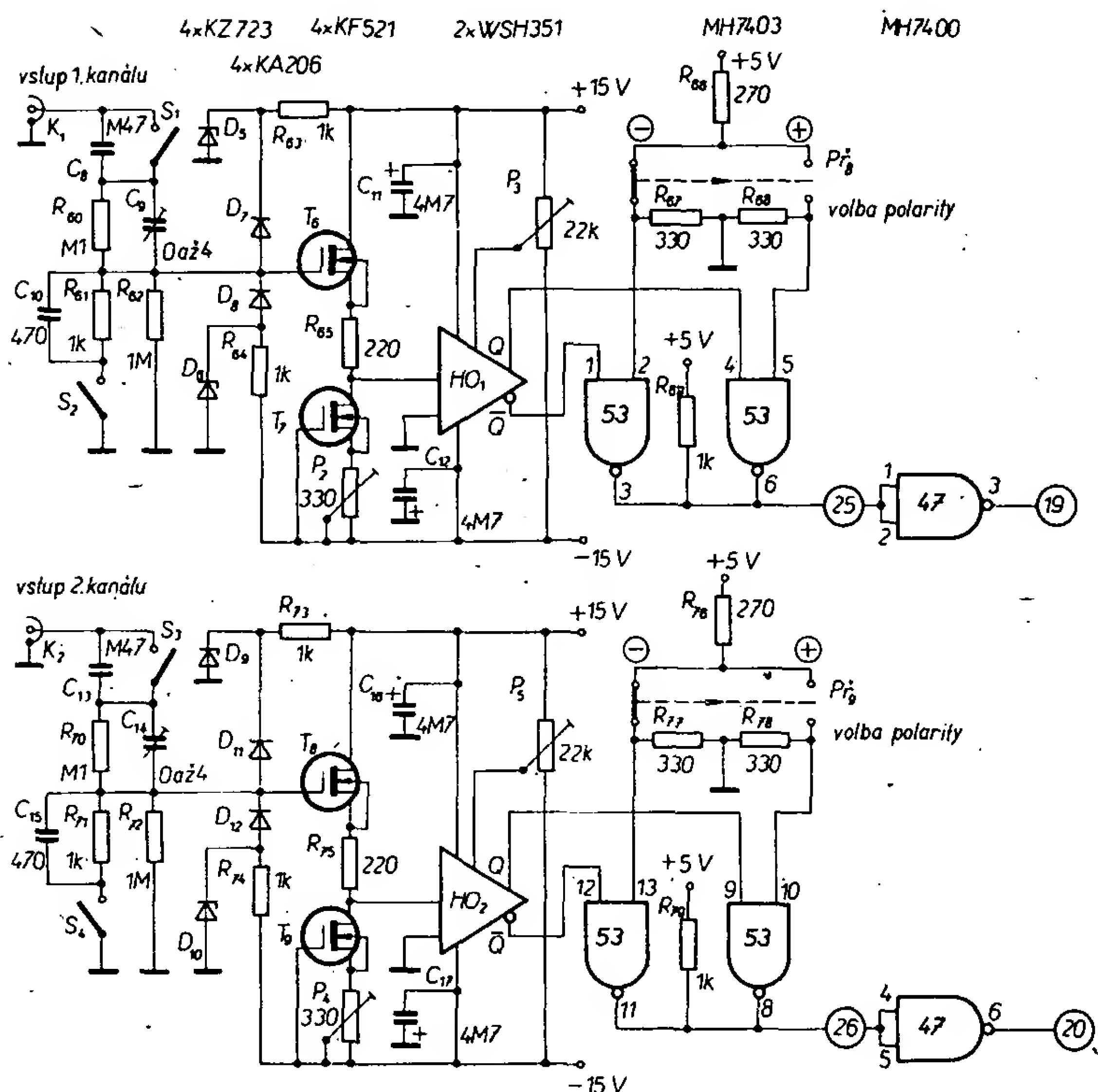
Obr. 15. Dekadický dělič D_1



Obr. 16. Dekadický dělič D_2 s přepínačem vstupu

Obr. 17. Oscilátor 1 MHz řízený krystalem





Obr. 18. Vstupní zesilovače a tvarovače A_1 a A_2

ho děliče D_2 signál z bodu *20* (signál ze zesilovače A_2) nebo bodu *24* (vnitřní signál standardního kmitočtu 1 MHz), rozhoduje poloha přepínače $Př_6$ spolu s úrovní v bodu *23*.

V poloze *c* přepínače $Př_4$ (dvoukanálové měření časového intervalu) je v bodě *23* úroveň H, a tedy nezávisle na poloze přepínače $Př_6$ je na vstup dekadického děliče D_2 vždy připojen vnitřní signál standardního kmitočtu z krystalového oscilátoru. Při tomto způsobu měření nelze používat vnější kmitočtový standard, který je možno přivádět druhým kanálem při měření kmitočtu nebo periody.

V polohách *a, b, d* přepínače $Př_4$ je v bodě *23* úroveň L, a tak přepínačem $Př_6$ můžeme volit, zda na vstup dekadického voliče D_2 přivedeme vnitřní nebo vnější signál kmitočtového standardu.

Vnitřní zdroj signálu standardního kmitočtu

Jako vnitřní zdroj signálu standardního kmitočtu používáme oscilátor řízený křemenným výbrusem (krystalem) 1 MHz. Zapojení tohoto oscilátoru, převzatého z [2], je na obr. 17. Oscilátor v Clappově zapojení využívá prvního tranzistoru z integrovaného obvodu MAA325. Zbylé dva tranzistory integrovaného obvodu spolu s dvouvstupovým hradlem na výstupu (zapojeným jako invertor) pouze tvarují sinusový signál o kmitočtu 1 MHz na pravoúhlý.

Stabilita kmitočtu oscilátoru závisí především na kvalitě krystalu. Pro tyto účely vybíráme krystal co nejkvalitnější s malým teplotním součinitelem a dobrou dlouhodobou stabilitou. Jeho jmenovitý kmitočet musí být trochu nižší, než je požadovaný kmitočet, abychom mohli kmitočet oscilátoru přesně nastavit sériovým kondenzátorem (paralelní kombinací kondenzátorů C_4 a C_5). Kondenzátorem C_5 nastavíme kmitočet hrubě a jemně oscilátor doladíme kapacitním trimrem C_4. Změnami poměru kapacit kondenzátorů C_6/C_7 můžeme nastavit optimální kladnou zpětnou vazbu pro použitý krystal, a tak odstranit zkreslení generovaného signálu přebuzením nebo naopak špatné nasazování oscilací po zapnutí.

Bude-li užit krystal s nižším kmitočtem, např. 100 kHz, musí se zvětšit kapacity kondenzátorů C_6 a C_7 zhruba desetkrát.

Je třeba dbát na to, aby signál oscilátoru nebyl modulován zbytky síťového napětí, jinak se zhorší jeho kmitočtová stabilita.

Vstupní zesilovač a tvarovač

V obecném pojednání je obsažena mimo jiné stručná zmínka o požadavcích, které jsou kladeny na vstupní obvody čítačů, aby tyto přístroje byly schopny skutečně univerzální-

ho použití. Lze říci, že konstrukce vstupních obvodů patří k nejnáročnějším problémům při vývoji zapojení univerzálního čítače. Proto také mnohé firmy v technické dokumentaci, připojené k dodávaným přístrojům, znázorňují často tyto obvody pouze obecným symbolem zesilovače, ačkoli ostatní části jsou rozkresleny podrobně se všemi údaji a detaily. Připomeneme si ještě jednou hlavní požadavky, které se kladou na vstupní obvody. Vstupní obvody musí měřený signál převést na signál, který budou schopny zpracovat následující číslicové integrované obvody. Musí mít určité napěťové zesílení, abychom univerzálním čítačem mohli měřit i malé signály. Vstupní zesilovač musí mít dostatečně velký vstupní odpor a malou vstupní kapacitu, aby co nejméně zatěžoval měřený objekt. (Je-li třeba konec měřicího zařízení zakončit např. odporem 75 Ω, stačí obyčejně vstupní zdířky tímto odporem překlenout, třeba spínačem.) Vstupní obvody musí být odolné proti přebuzení silným signálem, který je nejen nesmí zničit, ale ani přesytit (což by zhoršilo jejich funkci). Všechny tyto vlastnosti si přitom musí vstupní obvody zachovávat pro vstupní signály velmi širokého kmitočtového rozsahu, což je právě to, co návrh zapojení nejvíce komplikuje. Úmyslně jsme do nadpisu dali odděleně pojmy zesilovač a tvarovač, neboť profesionální zapojení opravdu bývají řešena tak, že vstupní část tvoří širokopásmový zesilovač, který zaručuje potřebnou citlivost a vstupní impedanci, a za ním bývá zapojen např. rychlý Schmittův klopný obvod, který díky své hysterezi a principu činnosti poskytuje pro další zpracování dokonalý signál obdélníkovitého průběhu se strmými hranami bez jakýchkoli zákmitů.

Jiný způsob řešení využívá na místě vstupního zesilovače rychlého komparátoru, který za určitých podmínek může pracovat v podstatě jako vstupní zesilovač. K podobnému způsobu řešení vstupního zesilovače a tvarovače jsme se přiklonili i my. Vzhledem k tomu, že v době vývoje univerzálního čítače nebylo možno počítat s možností použít dostupné monolitické komparátory (např. typu μA710 nebo 711), rozhodli jsme se využít k tomuto účelu hybridní integrovaný obvod WSH351 (VÚMS). Tento komparátor má parametry [3], které dovolují dosáhnout velmi dobrých vlastností vstupního zesilovače při jednoduchém zapojení (obr. 18). Ke zjednodušení přispívá i to, že komparátor má vyvedeny jednak signály s úrovněmi pořebnými pro buzení číslicových integrovaných obvodů TTL a jednak výstupy Q a $\overline{Q}$ s navzájem opačnými úrovněmi (jako u běžných bistabilních klopných obvodů). Toho se využívá ke konstrukci jednoduchého přepínače volby polarity doplněním komparátoru dvěma systémy dvoustupových hradel *53* s otevřeným kolektorem a přepínačem $Př_8$. Volbou polarity se zde rozumí určení té části vstupního signálu, kdy se po průchodu nulou signál zvětšuje (+) nebo naopak zmenšuje (−) – tedy okamžik, kdy mají obvody čítače spouštět nebo vypínat měřicí interval.

Ke zvětšení vstupního odporu je komparátoru předřazena dvojice tranzistorů řízených polem, oba tranzistory musí však být pečlivě párovány. Ideální jsou pro tento účel monolitické dvojice přechodových tranzistorů FE, u nichž je dokonalý souhlas parametrů podpořen ještě teplotní vyvážeností. Popsaným uspořádáním jsme získali zesilovač požadovaných vlastností.

Dále se musíme postarat o ochranu zesilovače proti přetížení, což obstarají dvě rychlé spínací diody, zapojené vždy v závěrném směru proti napětí asi 9 V. Překročí-li vstupní signál tuto velikost, omezí se působením odporu R_{60} a obou ochranných diod na velikost max. ±10 V, což další součástky nijak neohrozí. Na vstupu zesilovače je dále zařazen odpojitelný dělič, který použijeme při měření signálů větší úrovně (potom je spínač S_2 sepnut). Sepneme-li spínač S_1, můžeme univerzální čítač ovládat stejnosměrným signálem.

Vstupní obvod prvního kanálu seřizujeme nastavením trimru P_2. Na jeden z obou výstupů Q nebo $\overline{Q}$ komparátoru WSH351 připojíme osciloskop a na vstup přivedeme sinusový signál o napětí asi 100 mV (spínače S_1 a S_2 jsou rozpojeny). Za stálého zmenšování vstupního napětí hledáme takovou polohu běžce odporového trimru P_2, při níž je citlivost obvodu největší. Odporovým trimrem P_3 pak nastavíme komparátor tak, aby překlápěl při průchodu vstupního signálu nulou.

Shodně se vstupním obvodem prvního kanálu je konstruován i vstupní obvod druhého kanálu.

Místo dvou jednopólových dvoupolohových přepínačů $Př_8$ a $Př_9$, které mají polohy označeny + a −, můžeme použít jeden dvoupólový čtyřpolohový přepínač $Př_1$. Jeho čtyři polohy budou kombinacemi zvolených polarit obou kanálů: ++, +−, −+, −−.

Napájecí část

Obvody univerzálního čítače potřebují ke své činnosti tři napájecí okruhy; první slouží k napájení všech číslicových integrovaných obvodů a k napájení generátoru standardního kmitočtu. Napájecí napětí tohoto zdroje je +5 V, přičemž odběr proudu je přibližně 1 A. Z druhého zdroje (±15 V) jsou napájeny obvody vstupních tvarovačů měřeného signálu. Třetí zdroj slouží pouze k napájení anod digitronů. Na stabilitu a zvlnění výstupního napětí tohoto zdroje nejsou kladeny žádné zvláštní nároky, a proto je použit pouze jednocestný usměrňovač s jednoduchým kapacitním filtrem. U ostatních zdrojů jsou však nároky na stabilitu výstupního napětí větší, proto je nutné vybavit je vhodnými stabilizátory. V odborných publikacích amatérského i profesionálního charakteru již bylo popsáno nepřeberné množství různých zdrojů pro uvedená napětí a proudy, takže pro čtenáře, kteří nebudou moci použít dále uvedené řešení, nebude jistě obtížné vyhledat zapojení, které jim vyhoví. My jsme se totiž rozhodli vyzkoušet pro tento účel jedny z nejnovějších československých polovodičových součástek, hybridní integrované stabilizátory WSH913 a WSH914 (obr. 19). Obvod WSH913 je určen pro stabilizaci napětí ±15 V a je schopný dodat do zátěže z každé větve proud až 50 mA. Díky vestavěným elektronickým pojistkám je zdroj zkratuvzdorný, velikost omezovacího proudu se řídí volbou R_{80} a R_{81}. Přesnost výstupního napětí je lepší než 1 %, přičemž činitel stabilizace, vnitřní odpor i teplotní stabilita mnohokrát překračují požadavky na zdroj kladené (v tomto případě). Hybridní integrovaný obvod WSH913 je zvlášť vhodný k napájení obvodů s operačními zesilovači, kde může sloužit i jako referenční zdroj o přesnosti 0,1 % (po nastavení výstupního napětí vnějším potenciometrem).

WSH914 je třísvorkový stabilizátor (vstupní svorka, výstupní svorka, zemnicí svorka) napětí +5 V, zvlášť vhodný k napájení číslicových integrovaných obvodů, i když svými vlastnostmi obvyklé požadavky mnohonásobně převyšuje. Vedle přesnosti si zvlášť zaslouží pozornost jeho další cenná vlastnost, jíž je nezničitelnost v provozu. Stabilizátor je totiž vedle zkratuvzdorné pojistky proudového omezení vybaven ještě tepelnou pojistkou, zabraňující jeho zničení výkonovým přetížením.

Tím jsme se zmínili o nejzávažnějších parametrech obou integrovaných stabilizátorů. Podrobnější informace najdou čtenáři v literatuře [4]. Obraťme ještě svoji pozornost k zapojení zdrojů. Vidíme, že díky použití WSH913 a WSH914 jsou obvody neobyčejně jednoduché a skládají se pouze z usměrňovačů, filtrů a jmenovaných hybridních obvodů. Síťový napájecí transformátor je navinut na jádru EI25 × 20 mm podle následujícího navíjecího předpisu:

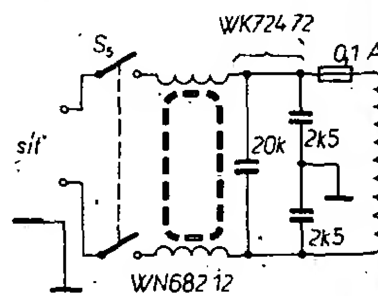
primární vinutí 220 V: 2000 z drátu o ∅ 0,18 mm CuL,
sekundární vinutí 180 V: 1980 z drátu o ∅ 0,1 mm CuL,
2 × 18 V: 2× 200 z drátu o ∅ 0,1 mm CuL,
2 × 9 V: 2× 100 z drátu o ∅ 0,5 mm CuL.

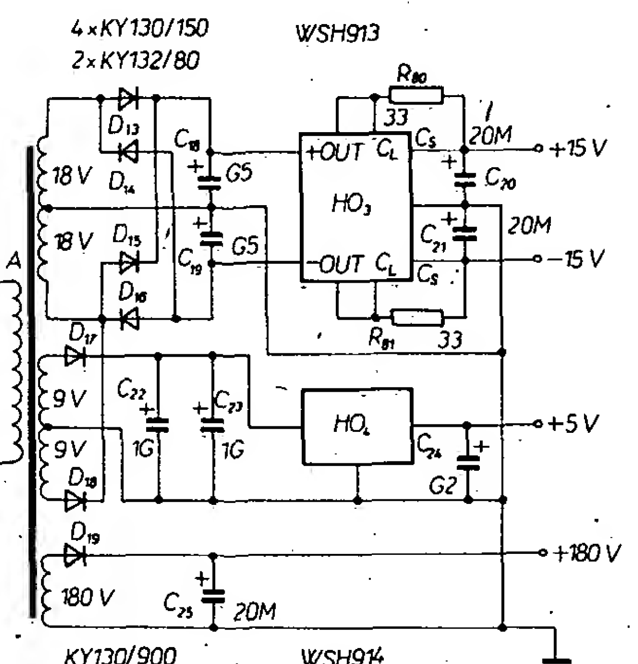
Odpory R_{80} a R_{81} pro nastavení proudového omezení navrhujeme pro proud asi ±20 mA (u stabilizátoru WSH913). Při výpočtu vycházíme z toho, že pojistka pracuje tehdy, je-li úbytek napětí na odporu R_{80} nebo R_{81} asi 0,65 V.

Proudové omezení je u stabilizátoru WSH914 nastaveno již při jeho výrobě asi na 2 A. Tepelná pojistka pracuje tak, že dosáhne-li teplota systému stabilizátoru asi 150 °C, stabilizátor se zcela uzavře (k uzavírání samozřejmě dochází spojitě).

Konstrukce

Stavba popisovaného univerzálního čítače není složitá, spíše nákladná vzhledem k současné ceně použitých součástek. Tím, že je několik možných variant zapojení, které je možno zvolit podle požadavků a dostupného materiálu, součástek atd., je vhodné použít při stavbě univerzální desky s plošnými spoji pro logické obvody. Na tyto desky lze velmi výhodně umísťovat i diskrétní součástky. Sami jsme při jedné variantě konstrukce užívali menší desku s plošnými spoji, navrženou pro obvody dekadického čítače, paměť, dekodér a digitronový displej a druhou velkou univerzální desku o rozměrech zhruba 17 × 22 cm pro umístění až 45 číslicových obvodů v pouzdrech DIL. Na této velké desce, z větší části zaplněné, jsou kromě napájecí části a vstupních zesilovačů všechny další obvody, včetně logických obvodů pro rozšíření kmitočtového rozsahu. Pro obvody komparace stavu dekadických čítačů (generování časového intervalu) je potřeba další





Obr. 19. Napájecí část

deska s plošnými spoji, podobně jako pro vstupní zesilovače a tvarovače signálu.

Oživení přístroje nevyžaduje žádné zvláštní postupy a přístroje. Vystačíme s běžným voltmetrem, logickou sondou a osciloskopem, případně signálním generátorem. Přesto však stavba tohoto přístroje není vhodná pro ty, kteří se s digitální technikou teprve začínají seznamovat. Při propojování jednotlivých číslicových obvodů vodiči na univerzální desce s plošnými spoji můžeme při troše nepozornosti udělat chybu, a pak pro toho, kdo nemá větší zkušenosti s číslicovými obvody a navíc plně nepochopí funkci popisovaných obvodů univerzálního čítače, bude hledání chyby velmi obtížné!

Při nevhodně rozmístěných obvodech na univerzální desce s plošnými spoji, při dlouhých spojovacích vodičích apod. se může snížit dosažitelný horní mezní kmitočet vstupního signálu, snížení však není podstatné. To samozřejmě neplatí pro obvody zpracovávající signály o kmitočtech desítek MHz a vyšších.

Obvody univerzálního čítače včetně zdrojů s transformátorem, displejem atd. nezabírají velký objem, pro velikost skříňky, do které umístíme univerzální čítač, jsou rozhodující především počet a rozměry použitých ovládacích prvků, konektorů, rozměr okénka pro digitronový displej atd., které určují minimální plochu předního panelu.

Často je výhodné doplnit přístroj odrušovacím filtrem *LC* v přívodu síťového napětí, který zamezí pronikání poruch ze sítě do přístroje. Samozřejmě je důležité pečlivě zemnit jednotlivé obvody i celý přístroj. Dále je nutno propojovat zdroj +5 V s jednotlivými obvody dostatečně tlustým vodičem (k dosažení malých úbytků napětí i při impulsním provozu) a nešetřit keramickými blokovacími kondenzátory (0,1 μF). Tyto kondenzátory nejsou na obrázcích obvodů univerzálního čítače uváděny, na blokování jednotlivých obvodů těmito kondenzátory však nezapomenout nesmíme!

Jako příklad konečného provedení popisovaného univerzálního čítače jsou na 2. a 3. str. obálky tohoto čísla AR B fotografie dvou provedení univerzálních čítačů, které autoři zhotovili.

Seznam součástek

V následujícím seznamu jsou uvedeny součástky použité v popsaných obvodech a jejich variantách, jakož i součástky dále uvedeného obvodu pro rozšíření kmitočtového rozsahu univerzálního čítače.

Logické integrované obvody TTL

Číslo obvodu	
1, 4, 6, 28,	
29, 32, 47	MH7400
33, 44, 45, 53	MH7403
5	MH7410
7	MH7440
30, 46, 50	MH7450
31	MH7460
27	MH7472
2, 3, 51, 52	MH7474
8 až 13, 26	MH7475
14 až 19,	
34 až 43	MH7490
20 až 25	MH74141
48	SN74H103
49	SN74S112

Hybridní obvody a lineární IO

HO_1	WSH351
HO_2	WSH351
HO_3	WSH913
HO_4	WSH914
IO	MAA325

Odpory (TR 112a nebo TR 151)

R_1	0,15 MΩ
R'_1	100 Ω
R''_1	180 Ω
R_2	1 MΩ
R'_2	1 kΩ
R''_2	1,8 kΩ
R_3	15 kΩ
R'_3, R''_4	5,6 kΩ
R_4	15 kΩ
R_5, R_6, R_8	2,7 kΩ
R_7, R_9	680 Ω
R_{10}, R_{12}	6,8 kΩ
R_{11}	220 Ω
R_{13}	390 Ω
R_{14}, R_{15},	
R_{17}, R_{18}	2,7 kΩ
R_{16}	1,5 kΩ
R_{19} až R_{24}	33 kΩ
R_{25}	3,3 kΩ
R_{26}	3,9 kΩ
R_{27}	330 Ω
R_{28}	15 kΩ
R_{29}	0,15 MΩ
R_{30}	680 Ω
R_{31}	220 Ω?
R_{32} až R_{35}	2,7 kΩ
R_{36} až R_{39}	330 Ω
R_{40}	1,2 kΩ
R_{41}	270 Ω
R_{42}	2,7 kΩ
R_{43}	560 Ω
R_{44} až R_{51}	330 Ω
R_{52}	270 Ω
R_{53}	68 kΩ
R_{54}	27 kΩ
R_{55}	150 Ω
R_{56}	2,7 kΩ
R_{57}	10 kΩ
R_{58}	39 Ω
R_{59}	470 Ω
R_{60}	0,1 MΩ
R_{61}, R_{63}, R_{64}	1 kΩ
R_{62}	1 MΩ
R_{65}	220 Ω
R_{66}	270 Ω
R_{67}, R_{68}	330 Ω
R_{69}, R_{71},	
R_{73}, R_{74}	1 kΩ
R_{70}	0,1 MΩ
R_{72}	1 MΩ
R_{75}, R_{76}	220 Ω
R_{77}, R_{78}	330 Ω
R_{79}	1 kΩ
R_{80}, R_{81}	33 Ω
R_{82}, R_{83}	2,7 kΩ

Kondenzátory (keramické, pokud není uveden typ)

C_1	TE 981, 50 μF
C_2	TE 981, 20 μF
C_3	1 nF
C_4	WK 701 04, 0 až 14 pF
C_5	viz text
C_6	220 pF
C_7	150 pF
C_8	TC 279, 0,47 μF
C_9	WK 701 22-26, 0 až 4 pF
C_{10}	470 pF
C_{11}, C_{12}	TE 124, 4,7 μF
C_{13}	TC 279, 0,47 μF
C_{14}	WK 701 22-26, 0 až 4 pF
C_{15}	470 pF
C_{16}, C_{17}	TE 124, 4,7 μF
C_{18}, C_{19}	TE 986, 500 μF
C_{20}, C_{21}	TE 984, 20 μF
C_{22}, C_{23}	TE 984, 1000 μF
C_{24}	TE 981, 200 μF
C_{25}	TE 992, 20 μF

Potenciometry a trimry

P_1	potenciometr 0,1 MΩ lineární se spínačem
P_2	odporový trimr 330 Ω
P_3	odporový trimr 22 kΩ
P_4	odporový trimr 330 Ω
P_5	odporový trimr 22 kΩ

Tranzistory

T_1, T_2, T_4	KF504
T'_1, T'_2, T_3	KC508
T_5	KF507
T_6 až T_9	KF521

Diody

D_1	KA501
D_2, D_{20}	GAZ51 nebo OA5, OA7, OA9
D_3, D_7, D_8,	
D_{11}, D_{12}	KA206
D_4	KA501
D_5, D_6,	
D_9, D_{10}	KZ723
D_{13} až D_{16}	KY130/150
D_{17}, D_{18}	KY132/80
D_{19}	KY130/900

Tlačítka

Tl_1 až Tl_5	spínací jednopólové tlačítko

Přepínače Isostat (nebo miniaturní otočné přepínače WK 533 . . .)

$Př_1$	čtyřpolohový dvoupólový přepínač
$Př_2$	spínač na potenciometru P_1
$Př_3$	dvoupolohový jednopólový přepínač
$Př_4$	čtyřpólohový čtyřpólový přepínač
$Př_5$	čtyřpolohový jednopólový přepínač
$Př_6$	dvoupolohový jednopólový přepínač
$Př_7$	osmipolohový jednopólový přepínač
$Př_8$, $Př_9$	dvoupolohový jednopólový přepínač
$Př_{10}$, $Př_{11}$	dvoupolohový jednopólový přepínač

Spínače páčkové (nebo typu Isostat)

S_1 až S_4	jednopólový spínač
S_5	síťový spínač

Ostatní součástky

E_1 až E_6	digitrony ZM1080T
X	krystal 1 MHz
Ž	telefonní žárovka 6 V/50 mA
Dt_1, Dt_2	doutnavka DGL15-13 nebo DGLR46/10, TN-03 atd.

Odrušovací tlumivka a kondenzátor (WN68212 a WK72472)

Možnosti dalšího rozšíření přístroje

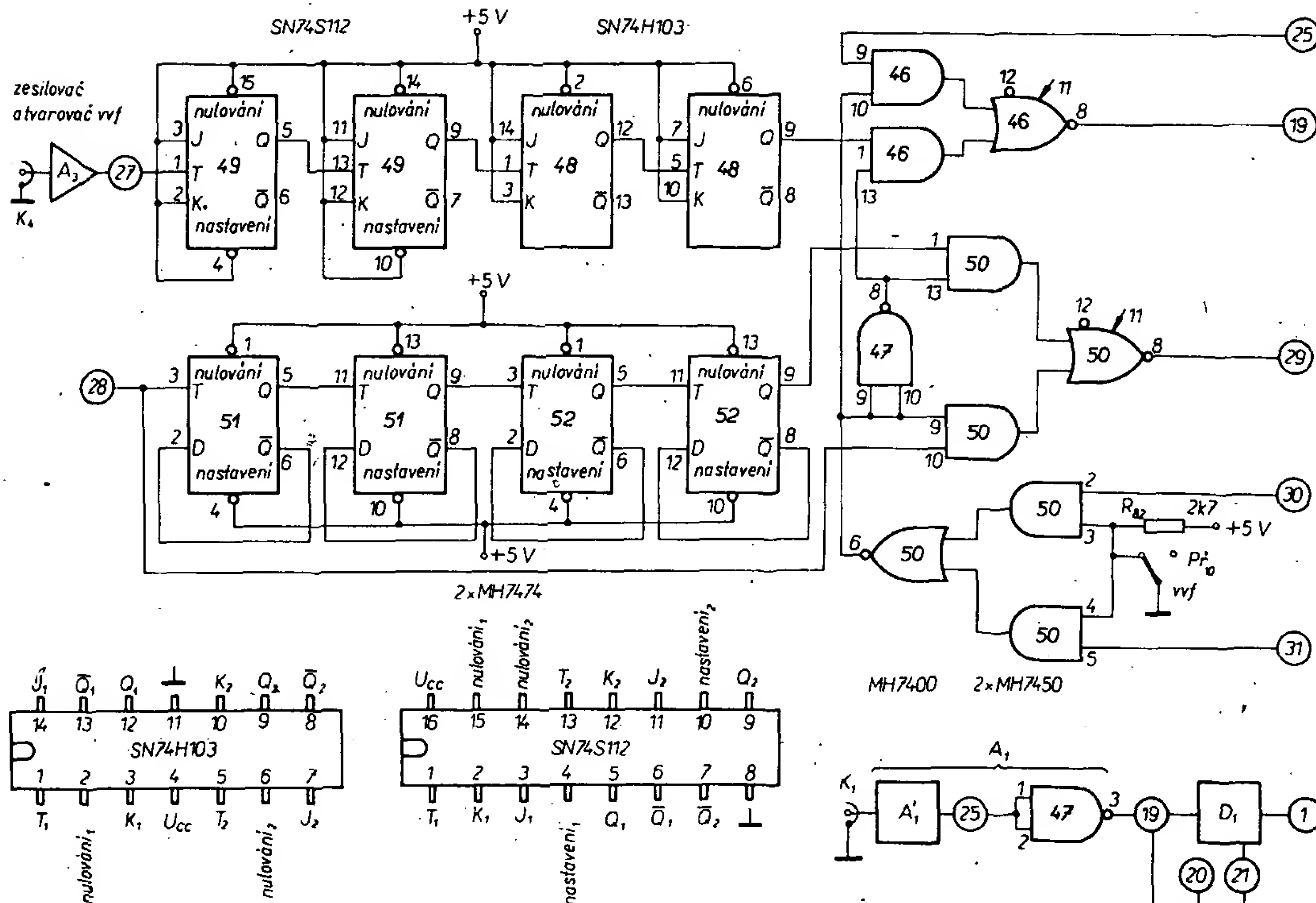
Uvádíme zde náměty k dalšímu rozšíření a doplnění popisovaného univerzálního čítače. Následující část není stavebním návodem, upozorňuje pouze na některá další možná vylepšení a možnosti jejich realizace.

Zlepšení stability kmitočtového standardu

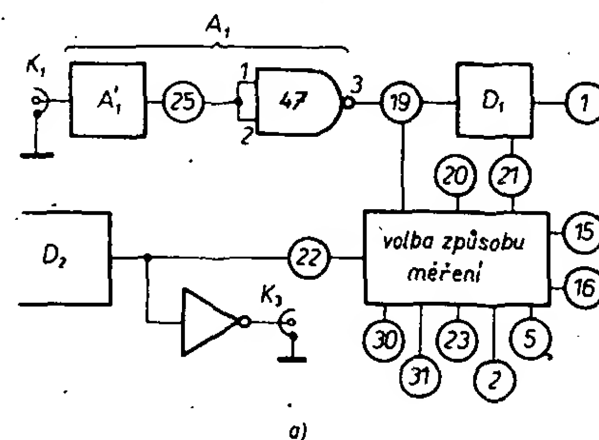
Dlouhodobou stabilitu můžeme zlepšovat obtížně. Znamenalo by to tepelně „cyklovat" krystal i součástky oscilátoru a případně součástky i zahořovat. Podstatně zlepšíme krátkodobou stabilitu kmitočtu oscilátoru umístěním krystalu v termostatu, případně i celého oscilátoru, který umístíme v hliníkovém nebo měděném vyhřívaném bloku, tepelně izolovaném od okolí např. pěnovým polystyrenem nebo polyuretanem. K vyhřívání použijeme teplo, získané kolektorovou ztrátou výkonového tranzistoru nebo topným vinutím na povrchu bloku. Teplota, na kterou budeme blok vyhřívat, musí být vyšší než je nejvyšší pracovní teplota v prostoru přístroje během dlouhodobého provozu v teplé místnosti. Navíc je vhodné tuto teplotu zvolit (je-li to možné) tak, abychom pracovali v okolí bodu s nulovou teplotní závislostí kmitočtu. Tato optimální teplota bývá pro některé typy krystalů udávána, především pro takové typy, které jsou určeny pro kmitočtové standardy. Tato teplota bývá mezi 40 až 60 °C.

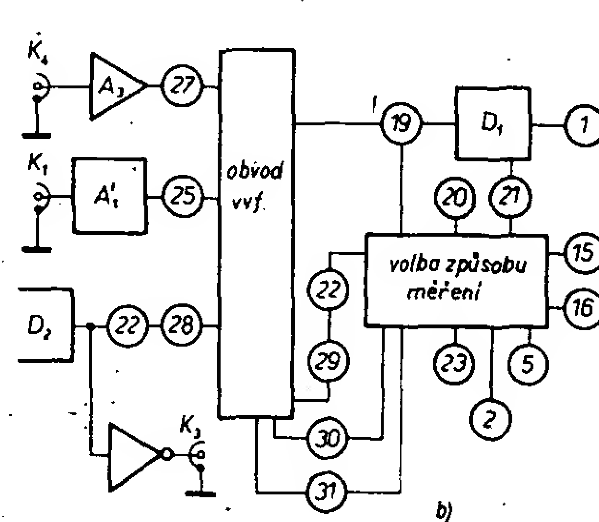
K udržování konstantní teploty v termostatu bývá při dobré vnější tepelné izolaci třeba příkon pouze několika wattů. Regulace stačí dvoupolohová: zapnuto – vypnuto. Jako čidlo použijeme kontaktní rtuťový teploměr, bimetal, termistor apod. Čidlo je vždy třeba umístit blízko topného prvku s dobrým vzájemným tepelným kontaktem.

Tímto způsobem se zlepší stabilita kmitočtu o více než dva řády (samozřejmě až po ustálení teploty bloku i krystalu na termostatované teplotě). Podle konstrukce lze očekávat ustálený stav za deset a více minut po zapnutí.



Obr. 20. Vstupní zesilovač A_3 a obvod pro rozšíření kmitočtového rozsahu do 120 MHz (obvod vvf)





Obr. 21. Část obvodů univerzálního čítače; a) v základním zapojení, b) s rozšířeným kmitočtovým rozsahem

Zvětšení kmitočtového rozsahu

Abychom mohli měřit signály o kmitočtech vyšších než 10 MHz, musíme univerzální čítač doplnit vhodnými číslicovými obvody, a chceme-li měřit různé signály (nejen pravoúhlého průběhu s úrovněmi TTL), musíme přístroj ještě vybavit zesilovačem a tvarovačem pro tyto signály.

K tomu, abychom mohli zpracovávat signály o kmitočtech vyšších než 10 MHz, musíme použít zahraniční číslicové obvody. Z našich klopných obvodů typu D (MH7474) nebo dekadických čítačů (MH7490) můžeme někdy vybrat kusy, které budou pracovat i na kmitočtech vyšších než 25 MHz. Podobné obvody se nám však těžko podaří sehnat a navíc získané rozšíření kmitočtového pásma není nijak významné. Pro vstupní signál do kmitočtu zhruba 50 MHz vystačíme např. s dvojitým klopným obvodem J-K typu SN74H103, jímž budeme kmitočet vstupního signálu dělit čtyřmi. Se Schottkyho obvodem TTL typu SN74S112, což je opět dvojitý klopný obvod J-K, můžeme pak zpracovávat signály o kmitočtech i přes 120 MHz (minimálně 80 MHz, typicky 125 MHz).

K popisovanému účelu bychom použili dva obvody SN74S112 nebo jeden SN74H103 a jeden SN74S112. Doufejme, že již brzy bude TESLA Rožnov vyrábět plánované obvody MH74S112! Dříve však budou asi dostupné klopné obvody D typu MH74S74, takže pro uvedené účely můžeme použít dvě pouzdra těchto obvodů, ovšem za cenu nižšího horního mezního kmitočtu.

Pro signály ještě vyšších kmitočtů bychom museli použít obvody ECL, s nimiž bychom mohli zpracovávat i signály o kmitočtech vyšších než 1 GHz, nebo obvody s tunelovými diodami. Návrh a konstrukce s těmito prvky jsou však náročné a obtíže se zvětšují se zvyšujícím se horním mezním kmitočtem. Proto se tyto obvody objevují v amatérských konstrukcích jen zřídka. Navíc je pak obtížná i realizace vstupních zesilovačů a ceny vhodných obvodů a součástek jsou dosud vysoké.

My jsme vyzkoušeli zapojení, v němž byl použit jeden *IO* typu SN74H103 a jeden typu SN74S112. Zapojení této přídavné části je na obr. 20.

Konstrukce vstupního zesilovače A_3 se souosým konektorem K_4 závisí na signálu, který chceme měřit. Zde se nebudeme touto problematikou zabývat a čtenáře odkazujeme na různá zapojení z literatury, např. [5].

Nepoužijeme-li vstupní zesilovač A_3, musíme přivést do bodu *27* signál pravoúhlého průběhu s úrovněmi vhodnými pro obvody TTL. Vstupní signál je čtyřmi systémy klopných obvodů J-K 48 a 49 dělen šestnácti. Tak dostaneme např. z původního kmitočtu vstupního signálu 120 MHz kmitočet 7,5 MHz a signál tohoto kmitočtu již naše obvody TTL zpracují bez problémů. Tento signál přichází na vstup hradla *46* (AND-OR-INVERT) na vývod *1*. Na vývod *9* pak přichází signál z bodu *25* – ze vstupního zesilovače prvního kanálu A_1. Místo dvouvstupového hradla *47* s vývody *1, 2* a *3* (ve funkci invertoru) v zesilovači A_1 (obr. 18) použijeme hradlo *46* (AND-OR-INVERT). Systém hradla *47* s vývody *1, 2* a *3* nebude použit. O tom, zda je na výstup *19* připojen signál z prvního kanálu nebo signál vvf, rozhoduje poloha přepínače $Př_{10}$ a přepínač způsobu měření $Př_4$. Signál vvf může být připojen na výstup *19* pouze při měření kmitočtu nebo periody (i když měření periody má význam především pro signály s nižším kmitočtem). Potom buď v bodu *30* nebo *31* je úroveň H a rozpojený přepínač $Př_{10}$ způsobí, že signál vvf bude připojen k bodu *19*. Při sepnutém přepínači $Př_{10}$ je na výstup *19* připojen signál z prvního kanálu (z bodu *25*).

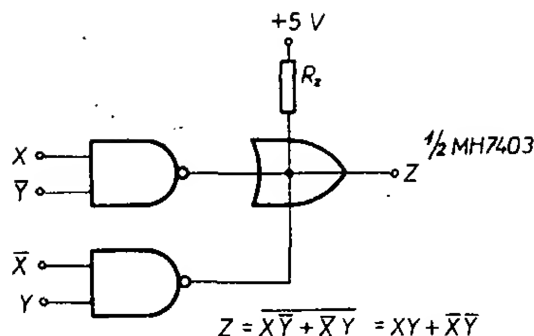
Abychom při měření kmitočtu signálu vvf nemuseli násobit číslem šestnáct údaj zobrazovaný displejem, prodloužíme měřený časový interval na šestnáctinásobek. Proto při měření signálu vvf (měření kmitočtu i periody) je kmitočet odvozený od vnitřního nebo vnějšího kmitočtového standardu ještě dělen šestnácti průchodem čtyřmi systémy *51* a *52* klopných obvodů typu D.

Při použití popisovaného obvodu zrušíme spoj výstupu dekadického děliče D_2 (bod *22*) a příslušného vstupu obvodu pro volbu způsobu měření (bod *22*) a vřadíme popisovaný obvod s body *28* a *29* na vstupu a výstupu. Provedení této úpravy je patrné z obr. 21.

Generování časového intervalu, časový spínač

Někdy je třeba generovat časový interval, zapnout nebo naopak vypnout nějaký vnější obvod, spotřebič atd. v předem zvoleném časovém intervalu. Této další funkce dosáhneme doplněním univerzálního čítače obvodem pro komparaci a volbou způsobu dvoukanálového měření časového intervalu nebo měření periody. Časový interval pak může být v rozmezí 1 μs až 10^8 sekund s rozlišením na jednotky nejnižšího řádu (absolutní velikost nastaveného časového intervalu a jeho rozptyl samozřejmě závisí na přesnosti a stabilitě kmitočtového standardu). Při přepnutí přístroje do funkce čítače můžeme předvolit stav čítače (počet impulsů), tj. dobu, kdy se zapne nebo vypne nějaký vnější spotřebič atd.

Základním principem činnosti obvodu je porovnávání číselného stavu všech šesti dekadických čítačů s číslem, předvoleným např. šesti desetipolohovými přepínači s polohami označenými číslicemi 0 až 9. Ke vzájemnému porovnání (komparaci) dochází v kódu BCD 8421. V tomto kódu je již stav dekadických čítačů přímo vyjádřen na výstupech A, B, C a D. Vyjádření předvoleného čísla v kódu BCD 8421 nejsnáze získáme, použijeme-li čtyřpólové desetipolohové přepínače, které podle tab. 3 pevně propojíme. Protože je displej šestimístný a každá dekáda je vyjádřena čtyřmi bity (A_i, B_i, C_i, D_i),



Obr. 22. Jednoduchý komparátor pro 1 bit

musíme porovnat celkem 24 bitů. Použitím několika komparátorů TTL (např. obvodů SN7485, 9324 atd.) by bylo možno tento úkol snadno a rychle zvládnout. Ne každý však má možnost problém řešit takto – pak nezbývá, než sestavit komparátor z většího počtu našich obvodů.

Pro zapojení komparátoru jsou vhodné integrované obvody MH7403 (čtyřnásobná dvojvstupová hradla s otevřeným kolektorem), které paralelním připojením výstupů k jedinému zatěžovacímu odporu realizují obdobu logického členu AND-OR-INVERT. (Tento způsob zapojení se anglicky nazývá WIRE-OR, volně přeloženo: „zadrátováním" získaná funkce OR.)

Příklad jednoduchého komparátoru pro jeden bit je na obr. 22. Krátkou úvahou se můžeme přesvědčit, že při

X = Y má Z úroveň H,
X ≠ Y má Z úroveň L.

Komparátor pro více bitů pak obdobně realizujeme s příslušně větším počtem dvouvstupových hradel s otevřeným kolektorem. Protože pro komparaci potřebujeme signál i jeho komplement (X a X̄), musíme obvod doplnit vhodným počtem invertorů, např. obvody MH7404 se šesti invertory. Pro komparaci 24 bitů potřebujeme 48 dvouvstupových hradel s otevřeným kolektorem, tj. celkem 12 pouzder MH7403 a pro 2 × 24 komplementární signály ještě 8 pouzder MH7404.

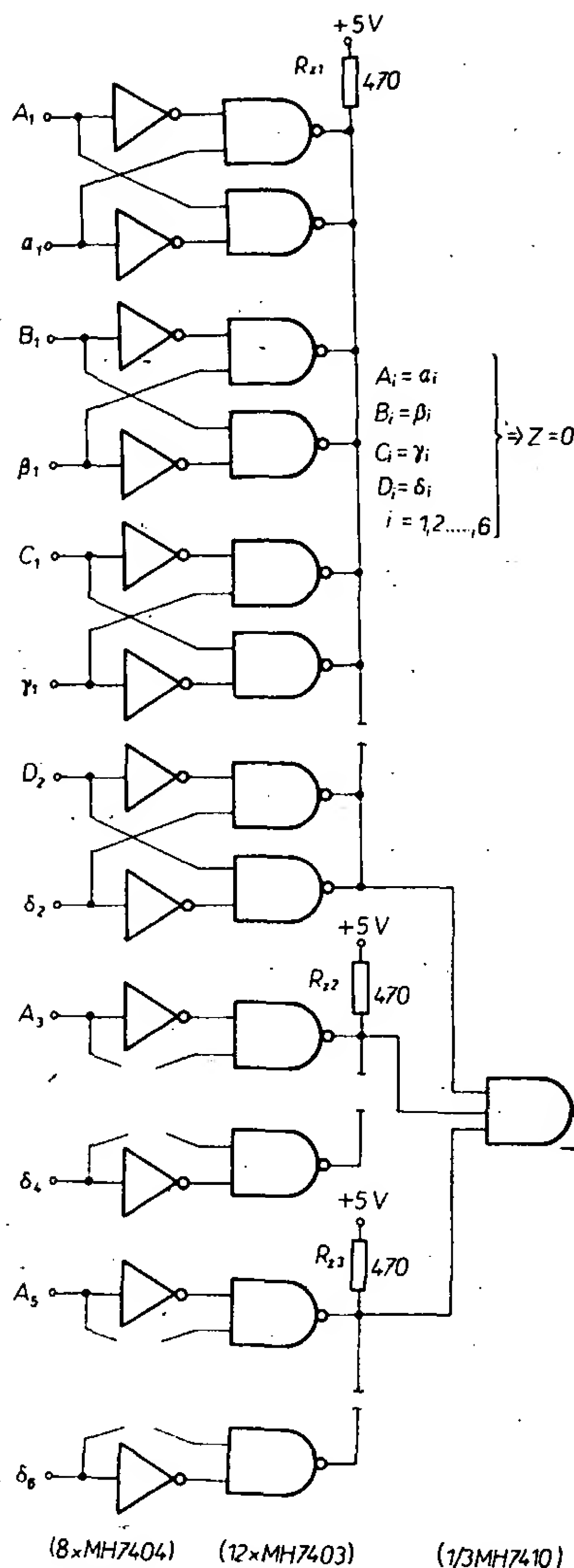
Na společný odpor R_z lze připojit až 30 výstupů hradel s otevřeným kolektorem, bezpečnější je však nezvětšovat tento počet přes 20. Proto 48 výstupů hradel rozdělíme na tři skupiny po 16 se zatěžovacími odpory R_z = 470 Ω [6] a obvod doplníme třívstupovým hradlem pro vytvoření logického součinu. Na výstupu tohoto hradla je úroveň L právě jen tehdy, když se obě čísla vyjádřená 24 bity sobě rovnají. Na obr. 23 je tento 24bitový komparátor. Vstupy A_i, B_i, C_i, D_i příslušejí odpovídajícím výstupům ítého dekadického čítače (MH7490). Obdobně α_i, β_i, γ_i, δ_i jsou čtyři bity, kterými je v kódu BCD 8421 vyjádřena předvolená číslice na přepínači ítého řádu.

Počátek vlastního měření je i počátkem generovaného časového intervalu a konec tohoto intervalu je pak určen změnou úrovně z H na L na výstupu komparátoru. Konkrétní provedení již neuvádíme, protože závisí na požadovaném způsobu použití.

Sumace dob série impulsů

Při některých měřeních nahodilých impulsních signálů, signálů s pulsně-šířkovou modulací atd. je třeba znát, po jakou část zvoleného časového intervalu měl signál úroveň H nebo naopak.

Spokojíme-li se s přesností měření danou ručním ovládáním začátku a konce časového intervalu, bude úprava stávajícího univerzálního čítače snadná. Tato úprava (obr. 24) se bude týkat pouze klopného obvodu *2* na vstupu monostabilního multivibrátoru. Přepínač $Př_{11}$ po sepnutí trvale nastavuje klopný obvod *2*, takže funkce monostabilního multivibrátoru (a tedy i celého řídicího obvodu) je vyřazena.

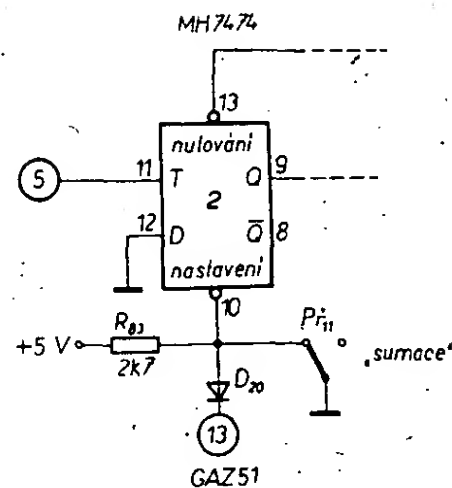


Obr. 23. 24bitový komparátor

Nejdříve přepneme přepínač $Př_4$ do polohy „časový interval" (dvoukanálové měření) a potenciometrem s přepínačem $Př_2$ nastavíme režim ručního spouštění jednorázového měření. Vyčkáme konce vlastního měření nebo měření ukončíme stlačením tlačítka Tl_2 „stop". Pak sepneme přepínač $Př_{11}$ a tím připravíme žádaný režim. Stlačením tlačítka Tl_1 pro ruční spouštění měření zahájíme měřicí časový interval. Měření skončíme stlačením tlačítka Tl_2. Toto tlačítko však musíme držet stlačené až do zaznamenání si údaje displeje (po puštění tlačítka měření pokračuje a čítač bez vynulování čítá dál). Případně můžeme na konci zvoleného časového měřicího intervalu přepnout přepínač $Př_3$ „paměť", výsledek je na displeji fixován, i když čítač čítá dále. Stav dekadického čítače i paměti můžeme vynulovat tlačítkem Tl_3.

Měřený signál přivádíme současně na oba vstupní konektory K_1 a K_2. Chceme-li měřit součet dob impulsů s úrovní H, volíme v prvním kanálu na přepínači $Př_8$ polohu + (klopný obvod **h** podle obr. 5 se překlápí náběhovou hranou impulsů a otvírá hradlo **a**), v druhém kanálu volíme na přepínači $Př_9$ polohu – (klopný obvod **h** se překlápí zpět s týlovou hranou impulsů a hradlo **a** se uzavírá) – to se při každém impulsu opakuje a čítač jednotlivé doby sčítá.

Pro měření s plnou přesností, kterou umožňuje tento univerzální čítač, musíme popsaný přístroj upravit následovně. Místo dvouvstupového hradla **a'** (značení podle obr. 5) použijeme třívstupové hradlo **a** (obr. 25). (Při realizaci můžeme např. místo třívstupového hradla *5*, zapojeného jako hrdlo dvojvstupové, použít hradlo dvojvstupové a uvolněné třívstupové hradlo použít jako hradlo **a'**). Tře-



Obr. 24. Úprava pro ruční měření součtu dob série impulsů. (Úprava vstupu monostabilního multivibrátoru z obr. 7)

tí vstup třívstupového hradla **a'** zapojíme na výstup dvojvstupového hradla **x** (obr. 25). Hradlo **x** při popisovaném měření součtu dob série impulsů (přepínač $Př_{11}$ „sumace" je rozpojen, přepínač volby způsobu měření $Př_4$ (obr. 13) nastavíme do polohy „měření kmitočtu" a dělič D_1 nastavíme na dělicí poměr 1 : 1) propouští na vstup hradla **a'** standardní kmitočet 1 MHz. Nastavíme-li na děliči D_2 čas měření např. 1 s (dělicí poměr 1 : 10^6) a na vstup zesilovače A_1 přivedeme signál, který chceme měřit, po spuštění vlastního měření se klopný obvod **h** překlopí na dobu 1 s a v této době otvírá hradlo **a'**. Na výstupu hradla **a'** pak během 1 s dostáváme impulsy o kmitočtu 1 MHz pouze v té době, kdy má měřený impulsní signál úroveň H (přepínač $Př_8$ vstupního zesilovače A_1 nastaven do polohy +) nebo úroveň L (přepínač $Př_8$ nastaven do polohy –).

Měříme-li dobu, po níž měl signál úroveň H, a byla-li tato úroveň na vstupu zesilovače A_1 po celý měřicí interval, např. 0,1 s, na displeji bude číslo 100 000. Byla-li naopak po celou dobu měřicího intervalu na vstupu úroveň L, na displeji se zobrazí samé nuly. Pro sérii impulsů pak naměříme údaj, ležící mezi těmito krajními případy.

Příklady použití

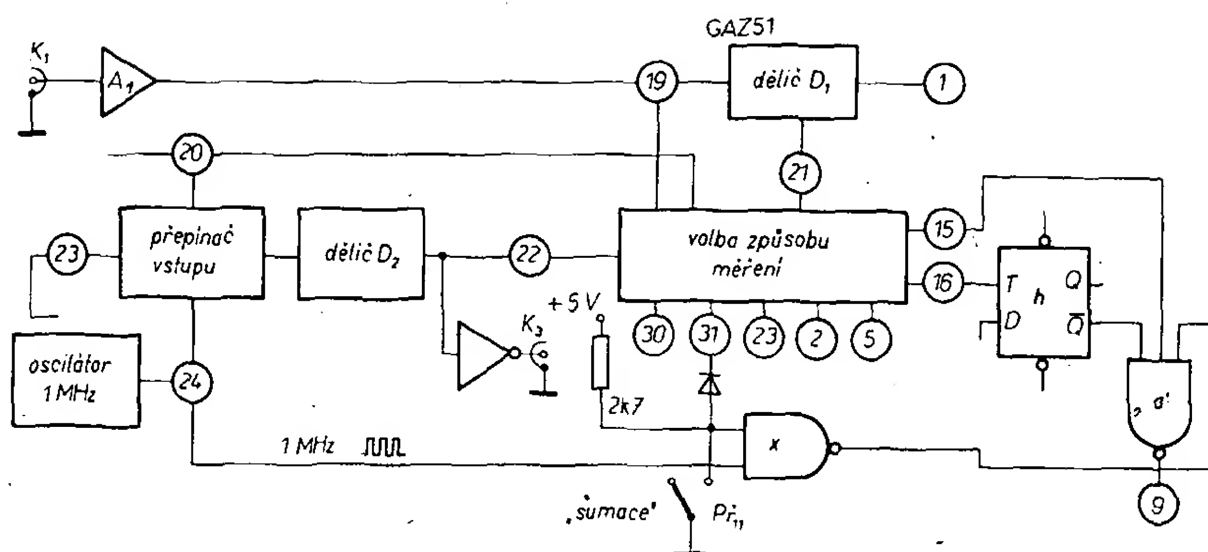
Měření kmitočtu a periody

Univerzální čítače se nejčastěji používají k měření kmitočtu a periody. Uvedeme zde několik příkladů těchto měření.

V některých případech potřebujeme znát přesně kmitočet elektrické sítě v daný okamžik nebo alespoň v krátkém časovém intervalu. Proto na vstup univerzálního čítače (konektor K_1) přivedeme např. síťové napětí, transformované na desetiny až jednotky voltů. Protože kmitočet sítě je nízký (přibližně 50 Hz), měříme dobu periody T a kmitočet f pak vypočteme jako převrácenou hodnotu periody. Na přístroji nastavíme režim měření periody a přepínač $Př_7$ děliče D_2 do polohy 1 : 1, abychom měřili s rozlišením na 1 µs (vnitřní kmitočtový standard 1 MHz). Budeme-li měřit dobu jedné periody, tzn. je-li přepínač $Př_5$ děliče D_1 nastaven do polohy 1 : 1, naměříme zhruba dvacet tisíc µs. Nesmíme zapomenout, že změřená doba je zatížena chybou čítačových metod ±1, relativní chybou vnitřního kmitočtového standardu a hlavně chybou, způsobenou časovou nejistotou otvírání a zavírání hradla.

Při měření 10, 100 nebo 1000 period dostáváme průměrnou hodnotu periody za dobu zhruba 0,2, 2 nebo 20 sekund s větší přesností.

Měřením signálů různých oscilátorů můžeme snadno zjistit vliv napájecího napětí, teploty, změn některých parametrů obvodu



Obr. 25. Úprava univerzálního čítače pro sumaci dob série impulsů

atd. na kmitočet nebo periodu a jejich krátkodobou stabilitu.

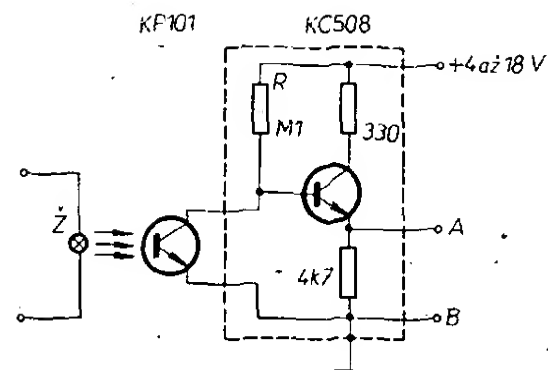
Zesíleným signálem z mikrofonu, přivedeným na vstup univerzálního čítače, můžeme kontrolovat přesnost naladění hudebních nástrojů. U elektronických hudebních nástrojů lze měřit přímo generovaný signál.

Často při slaďování úzkopásmových mezifrekvenčních zesilovačů, různých filtrů atd. se spoléháme na údaj stupnice použitého pomocného oscilátoru, přičemž přesnost továrně vyráběných oscilátorů bývá několik procent; uvedená přesnost však platí pro nový a dostatečně dlouho zapnutý přístroj (ohřátý). V praxi se však setkáváme s tím, že servisní oscilátor nastavený podle stupnice na kmitočet 468 kHz generuje třeba 510 kHz. Pak se nesmíme divit, když po „sladění" nemá náš superhet parametry, jaké by měl mít. Použijeme-li však univerzální čítač ke kontrole kmitočtu tohoto signálu, můžeme se těmto nepříjemnostem vyhnout.

Někdy potřebujeme přesně měřit rychlost otáčení motorku, různých převodů atd. Nejsnazším způsobem měření se zdá generovat kmitočet úměrný rychlosti otáčení na fotoelektrickém principu a tento kmitočet nebo periodu pak měřit univerzálním čítačem.

K tomuto účelu si zhotovíme fotoelektrické čidlo podle obr. 26. V kolektoru fototranzistoru KP101 je odpor R (na obr. 26 je to odpor 0,1 MΩ), na němž dochází k úbytku napětí úměrnému proudu tekoucímu osvětleným fototranzistorem. Nedopadá-li na fototranzistor světlo, je na kolektoru fototranzistoru (a tedy i na bázi emitorového sledovače s tranzistorem KC508) napětí, blížící se napětí napájecímu.

Při daném osvětlení fototranzistoru bude mezi body A a B výstupní napětí tím menší, čím větší bude zesilovací činitel fototranzistoru a čím větší bude odpor R. Proto někdy bývá třeba zvolit odpor R tak, aby funkce fotoelektrického čidla vyhovovala danému



Obr. 26. Žárovkové fotoelektrické čidlo

případu. Napájecí napětí může být asi 4 až 18 V.

Odpor 330 Ω v kolektoru tranzistoru KC508 slouží jako ochrana tohoto tranzistoru, který by jinak mohl být zničen při zkratu na výstupu (při malém odporu R a neosvětleném fototranzistoru).

(Dokončení v příštím čísle)

Literatura

[1] Design Examples with Integrated Circuits. *Firemní literatura Siemens* 1971/72.

[2] *Vachala, V.; Kříšťan, L.:* Oscilátory a generátory. SNTL: Praha 1974.

[3] Podklady pro katalogový list hybridního komparátoru WSH351. VÚMS: Praha 1973.

[4] Podklady pro katalogový list hybridních stabilizátorů WSH913 a WSH914. VÚMS: Praha 1974.

[5] *Pácovský, J.:* Rozšíření kmitočtového rozsahu čítačů. Příloha AR 1975, str. 61.

[6] Příklady použití číslicových integrovaných obvodů MH7403, MH7490, MH7493. Technická zpráva n. p. TESLA Rožnov, září 1971.

KNIHY PORADIA RÁDIOAMATÉROM

Knihy s tématikou rádiotechniky, televízie, elektroniky a oznamovacej techniky sme vybrali pre tých, ktorý sa o tieto obory zaujímajú. Ak si objednáte a preštudujete knihy z našej ponuky, zoznámite sa s novými informáciami týchto rýchlo sa rozvíjajúcich technických oborov. Svoje požiadavky posielajte na adresu:

SLOVENSKÁ KNIHA, n. p., odbyt,
Rájecká 7, 010 91 ŽILINA

Objednávam(e): **cena Kčs**

. . . ks **Aisberg: FAREBNÁ TELEVÍZIA? NIČ JEDNODUCHŠIE!**
Súčasný stav farebnej televízie, najmä tri základné normy: NTC (americká), PAL (nemecká), SECAM (francúzska), a návod na nastavenie prijímača pre normu SECAM. Alfa
18,—

. . . ks **Dodek: POLOVODIČOVÉ USMERŇOVAČE A STABILIZÁTORY NAPÄTIA**
Využitie vlastností polovodičov na návrh a konštrukciu usmerňovačov a stabilizátorov napätia. Alfa
37,50

. . . ks **Jakovlev: PRÍRUČKA IMPULZOVEJ TECHNIKY**
Súborné dielo o základoch impulzovej techniky vysvetľuje fyzikálnu podstatu procesov v impulzových obvodoch. Alfa
49,—

. . . ks **Jermolov: PRÍRUČKA ČÍSLICOVÝCH MERACÍCH PRÍSTROJOV**
Stručné základy a princípy zostrojenia číslicových meracích prístrojov. Alfa
16,—

. . . ks **Kottek: ČESKOSLOVENSKÉ ROZHLASOVÉ A TELEVIZNÍ PŘIJÍMAČE III. (1964–1970) A ZESILOVAČE**
Kniha obsahuje popisy, schémy a zlaďovacie návody. SNTL
60,—

. . . ks **Meluzin: OTÁZKY A ODPOVEDE Z OZNAMOVACEJ TECHNIKY**
Odpovede na 300 otázok z oznamovacej techniky po vedeniach sú z oblasti signalizácie, telegrafie a telefónu. Alfa
16,—

. . . ks **Meluzin: OTÁZKY A ODPOVEDE ZO ZÁKLADOV RÁDIOTECHNIKY**
Kniha je určená rádioamatérom, frekventantom rádioamatérskych kurzov, študentom a examinátorom stredných a odborných škôl. Alfa
18,50

. . . ks **Mihálka: MODERNÉ POLOVODIČOVÉ SÚČIASTKY**
Polovodičové súčiastky, ich fyzikálne funkcie, závislosti ich elektrických veličín, použitie a praktické zapojenie. Alfa
36,—

. . . ks **Niemczewicz: ABC POLOVODIČOVEJ ELEKTRONIKY**
Konštrukcia, výroba a funkcia základných polovodičových súčiastok, tj. diód a tranzistorov pre nízke i vysoké kmitočty. Alfa
13,50

. . . ks **Niemczewicz: VZORCE, DEFINÍCIE A PRÍKLADY Z RÁDIOTECHNIKY**
Kniha obsahuje základné definície, vzťahy a vzorce z elektrotechniky, rádiotechniky a z príbuzných oborov. Alfa
16,—

. . . ks **Oehmichen: ELEKTRONIKA? NIČ JEDNODUCHŠIE!**
Základné princípy elektroniky. Alfa
30,—

. . . ks **PRÍRUČKA POLOVODIČOVEJ TECHNIKY**
Kniha má originálnu koncepciu, založenú na výhodnom spojení príručky s lexikonom o polovodičoch. Alfa
27,—

. . . ks **RÁDIOTECHNICKÁ PRÍRUČKA 1.**
Najnovšie zapojenia základných prvkov, elektroniek a tranzistorov, v oblasti vysokofrekvenčnej rádiotechniky. Alfa
29,—

. . . ks **RÁDIOTECHNICKÁ PRÍRUČKA 2.**
Poznatky o vývoji tranzistorových zariadení z oblasti oznamovacej techniky, elektroniky a elektroakustiky. Alfa
29,—

. . . ks **RÁDIOTECHNICKÁ PRÍRUČKA 4.**
Obsahuje údaje o princípoch farebného videnia, spôsoby rozkladania a skladania farebných signálov a najmä princípy europských systémov farebnej televízie SECAM a PAL. Alfa
26,—

. . . ks **RÁDIOTECHNICKÁ PRÍRUČKA 5.**
Obsahuje vyskúšané zapojenia z elektrotechniky, rádiotechniky a elektroakustiky. Alfa
29,—

. . . ks **Trusz: ABC opravy televízorov**
Opis naradia, skúšačiek a meracích prístrojov používaných pri oprave televíznych prijímačov. Alfa
31,—

. . . ks **Wojciechowski: AMATÉRSKE ELEKTRONICKÉ MODELY**
Praktické návody a schémy na amatérske vyhotovenie elektronických modelov. Alfa
35,—

Vyznačené knihy pošlite dobierkou na adresu:

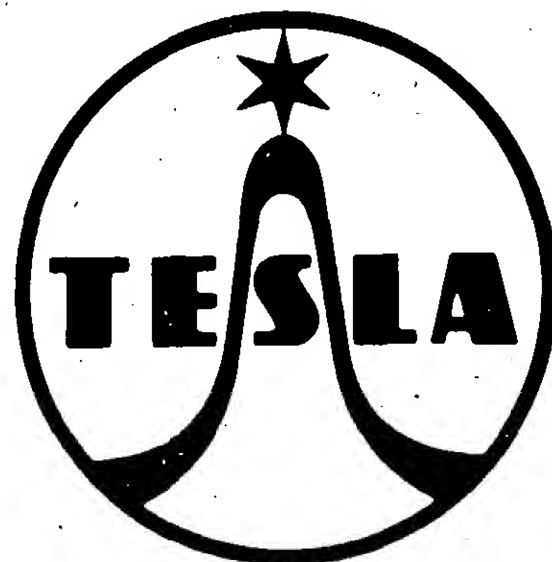
Meno a priezvisko: . . . .

Bydlisko: . . . .

Okres, PSČ: . . . .

Dátum: . . . .
podpis

SOUČÁSTKY a náhradní díly



k okamžitému odběru:

ELEKTRONKY

ECC82, ECC83, ECC84, ECC85, ECL84, ECL86, EL36, EL81, EL83, EL84, EL500, PABC80, PCC84, PCL200, PL81, PL84, PL508, PL509, 6A2P (6H31), 6CC42, 6K4P (6F31), 6L31, 6N15P (6CC31), 6Ž1P (6F32), 6Ž5P (6F36) ECF803, EF183, EF184, PC86, PC88, PCF801, EF800, 6Ž1PE, 6Ž1PV, E83CC, DCG4/1000, AZ1, DY51, EAA91, EY88, EZ80, EZ81, PY82, PY83, PY500, 1Y32P, 6Y50, STR85/10-C, STR150/30, 11TN40, EM84, EA52.

OBRAZOVKY

35MK22, 430QP44, AW43802.

VÍCEÚČELOVÝ MATERIÁL

Odpory uhlíkové: TR 112a – ceny od 0,30 do 1,70 Kčs, TR 143 – 146m – – ceny od 0,40 do 2,90 Kčs, TR 106–108 – ceny od 1,10 do 8,50 Kčs.
Odpory MLT: TR 151–154 – ceny od 0,45 do 2,20 Kčs.
Odpory drátové: WK 669 44–45 – ceny od 5,50 do 9 Kčs.
Potenciometry vrstvové: TP 180a, TP 181a, TP 280n–287m – ceny od 5,50 do 13 Kčs.
Potenciometry knoflíkové: TP 400 – cena 7 Kčs.
Potenciometry keramické: TP 053 – cena 46 Kčs.
Elektrolytické kondenzátory: TE 980–993 – ceny od 2 do 4 Kčs, TC 934y–939a, TGL 5151 – ceny od 8,50 do 66 Kčs.
Kondenzátory odrušovací: TC 242 – cena 5,50 Kčs.
Kondenzátory krabicové: TC451–461 – ceny od 5,50 do 10 Kčs, TC 471–489 – ceny od 7 do 19 Kčs, TC 651–669 – ceny od 12 do 52 Kčs.

DIODY

GA202, GA203, GA204, GA206, GAZ51, 4-GAZ51, KA206, KY705, KY708, KY710, KY711, KY712, KY715, KY721, KY722, KY725, KYZ30, KYZ70, KYZ71, KYZ72, KYZ73, KYZ74, KYZ77, KYZ78, KYZ79, KYZ82, KZ724, KZ799, KS188A (KZZ71), KZZ73 (D814V), B814D (KZZ), 2NZ70, 5NZ70, 6NZ70, 1PP75.

TRANZISTORY

GC500, 2-GC500, GC501, GC502, GC507, 2-GC507, GC508, GC509, GC510, GC510K, GC510K+520K, GC511, GC511K, GC511K+521K, GC515, GC516, GC521K, GC522, GC522K, GS501, GS502, GS507, 103NU70, 2-103NU70, 106NU70, 101NU71, 2-101NU71, 102NU71, 103NU71, 104NU71, 2NU72, 2-2NU72, 3NU72, 2-3NU72, 4NU72, 2-4NU72, 5NU72, 2-5NU72, 2NU73, 3NU73, 2-3NU73, 4NU73, 2-4NU73, 5NU73, 2-5NU73, 6NU73, 2-6NU73, 7NU73, 2NU74, 2-2NU74, 3 NU74, 2-3NU74, 4NU74, 6NU74, 2-6NU74, 7NU74, GF501, GF502, GF503, GF504, GF506; OC170 (GT322), OC170 výb. (GT322A), 155NU70, 156NU70, KC510, KC507, KC508, KCZ58, KCZ59, KD602, KF504, KF506, KF507, KF517, KFY16, KFY34, KU601, KU611.

INTEGROVANÉ OBVODY

MH5410, MH5420, MH5430, MH5450, MH5472, MH7400, MH7403, MH7410, MH7420, MH7430, MH7440, MH7450, MH7453, MH7460, MH7472, MH7474, MH7490, MH7493, MH8400, MH8450, MA0403, MAA115, MAA125, MAA145, MAA225, MAA245, MAA325, MAA345, MAA435, MAA501, MAA502, MAA503, MAA504, MAA525, MAA550, MAA661, MBA125, MBA145, MBA225, MBA245.

Pro jednotlivce i organizace odběr za hotové i na fakturu:
+ ve značkových prodejnách TESLA
+ na dobírku od Zásilkové služby TESLA, Za dolním kostelem 847, PSČ 688 19 Uherský Brod
+ dle dohody s Oblastními středisky služeb TESLA: pro Středočeský, Jihočeský, Západočeský a Východočeský kraj – OBS TESLA Praha 1, Karlova ul. 27, PSČ 110 00, tel. 26 21 14; pro Severočeský kraj – OBS TESLA Ústí n. L., Pařížská 19, PSČ 400 00, tel. 274 31; pro Jihomoravský kraj – OBS TESLA Brno, Františkánská 7; PSČ 600 00, tel. 67 74 49; pro Severomoravský kraj – OBS TESLA Ostrava, Gottwaldova 10, PSČ 700 00, tel. 21 34 00; pro Západoslovenský kraj – OBS TESLA Bratislava, Karpatská 5, PSČ 800 00, tel. 442 40; pro Středoslovenský kraj – OBS TESLA Banská Bystrica, Malinovského 2, PSČ 974 00, tel. 255 50; pro Východoslovenský kraj – OBS TESLA Košice, Luník I, PSČ 040 00, tel. 362 43.

TESLA obchodní podnik